

VŠB – Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektroniky a informatiky  
Katedra Elektroniky

Měřicí přípravek se spínaným zdrojem  
Measuring unit with switching power supply

2013

David Krajc

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta elektrotechniky a informatiky  
Katedra elektroniky

## Zadání bakalářské práce

Student:

**David Krajc**

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Měřicí přípravek se spínaným zdrojem  
Measuring Unit with Switching Power Supply

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte teoretický popis a rozdělení lineálních a spínaných napájecích zdrojů.
2. Vyberte vhodný spínaný zdroj a proveďte jeho detailní popis.
3. Vytvořte měřicí přípravek se spínaným zdrojem pro laboratorní úlohu.

Seznam doporučené odborné literatury:

Krejčířík, A.: Napájecí zdroje I, BEN, Praha 1997.  
Krejčířík, A.: Napájecí zdroje II, BEN, Praha 1997.  
Basso, Ch.P.: Switch-Mode Power Supply Spice Cookbook, McGraw Hill Professional, 2001.  
Krejčířík, A.: Spínané napájecí zdroje s obvodem TopSwitch, BEN, Praha 2002.  
Krejčířík, A.: Spínané zdroje s časovačem 555, BEN, Praha 2002.

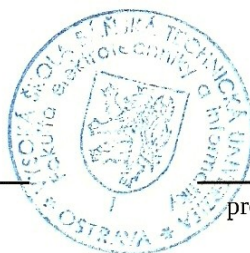
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Petr Vaculík, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty

## **Prohlášení studenta**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

V Ostravě dne 7.5.2013

Podpis.....Krajc.....



## **Poděkování**

Tato práce byla vypracována s podporou projektu Nové kreativní týmy v prioritách vědeckého bádání, reg. č. CZ.1.07/2.3.00/30.00055 podpořeného Operačním programem Vzdělání pro konkurenceschopnost a spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Děkuji především panu Ing. Petru Vaculíkovi, Ph. D. za poskytnuté konzultace při přípravě mé bakalářské práce.

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá spínanými zdroji a jejich vlastnostmi. Na začátku bakalářské práce jsou zmíněny lineární obvody, protože části těchto obvodů se nachází i ve spínaných zdrojích. Dále jsou v práci uvedeny a popsány základní zapojení spínaných zdrojů s indukčností, s obvodem TOPSwitch, s časovačem 555, ale i obvody bez indukčnosti. Na konci bakalářské práce jsou podrobně rozebrány dva spínané zdroje firmy Mean Well PT – 65C, RT – 85C, a na jejich základě je vytvořen měřicí přípravek pro laboratorní úlohu pro předmět Výkonové polovodičové systémy II.

## **Abstract**

Bachelor thesis deals with switching sources and their properties. At the beginning of the bachelor thesis are mentioned linear circuits, because parts of these circuits are also in switching sources. Furthermore, there are listed and described the basic connections of the switching sources with inductance, with circuit TOPSwitch, with timer 555, however, circuits without inductance as well. Two switching sources of the company Mean Well PT – 65C, RT – 85C are analyzed in detail at the end of this thesis and on the base of them, there is a measuring product designed for the given laboratory task for the subject of Power Semiconductor Systems II.

## **Klíčová slova**

Lineární zdroje, spínané zdroje, zapojení spínaných zdrojů, řízení spínaných zdrojů, TOPSwitch.

## **Key Words**

Linear power supply, switching power supply, integration of switching power supply, regulation of switching power supply, TOPSwitch.

## Seznam použitých zkratk a symbolů

AC		Alternating Current = střídavý proud
AND		typ logického integrovaného obvodu
$C$	[F]	kapacita kondenzátoru
$C_C$	[F]	kompensační kondenzátor
CMOS		integrované obvody s MOS tranzistory
CONTROL		označení řídicího vstupu obvodu TOPSwitch (control = řízení)
$C_{OUT}$	[F]	kapacita výstupního kondenzátoru
D		označení diody
DC		Direct Current = stejnosměrný proud
DC/DC		označení převodníku stejnosměrného napětí
DIL		označení typu pouzdra integrovaného obvodu (DIL = Dual in Line = vývody ve dvou řadách)
DIP-8		označení typu pouzdra integrovaného obvodu s osmi vývody
DRAIN		označení elektrody obvodu TOPSwitch
$f$	[Hz]	kmitočet
FET		označení tranzistoru řízeného polem
$f_o$	[Hz]	opakovací frekvence
FREQUENCY		označení vývodu obvodu TOPSwitch,
GND		označení zemnicí svorky (zem)
HV RTN		označení výstupního zemního vodiče
$I$	[A]	proud
$I_n$	[A]	jmenovitý proud
JFET		tranzistor FET s řídicí elektrodou
L		označení cívky
$L_{OUT}$	[H]	indukčnost výstupní cívky
MOS		označení struktury transformátoru FET
MULTIFUNCTION		označení vícefunkční elektrody obvodů TOPSwitch FX
$N_1$		primární vinutí transformátoru
$N_{2-x}$		sekundární vinutí transformátoru
NMOS		typ tranzistoru MOS (s kanálem N)
OSC		označení oscilátoru
OUT		označení výstupní svorky, výstup integrovaného obvodu 555 (vývod 3)
$P$	[W]	výkon
PC		označení pro osobní počítač
PWM		označení pro pulzně šířkovou modulaci
$R$	[ $\Omega$ ]	rezistor
RC		označení RC členu (kondenzátor + odpor)
RESET		označení nulového impulsu, vstup obvodu 555 (vývod 4)
RS		klopný obvod
S		označení spínače
SET		označení nastavovacího impulsu

SMD		Suface Mounting Devices = povrchová montáž součástek
SMD-8		typ pouzdra integrovaného obvodu s osmi vývody pro SMD montáž
SOURCE		označení elektrodu v obvodu TOPSwitch
$t$	[s]	čas
T		označení tranzistoru
Tr		označení transformátoru
TTL		integrované obvody s bipolárními tranzistory
$U$	[V]	napětí
$U_{ERR}$	[V]	chybové napětí zpětnovazební smyčky
$U_{IN}$	[V]	vstupní napětí
$U_{OSC}$	[V]	maximální hodnota oscilátorového napětí pilového průběhu
$U_{OUT}$	[V]	výstupní napětí
$U_{PWM}$	[V]	napětí na vstupu PWM
$U_{REF}$	[V]	referenční napětí
UVLO		Under Voltage Lock Out = vypínací obvod při podpětí
VCO		označení oscilátoru, řízeného napětím
ZD		označení Zenerovy diody
$\eta$	[%]	účinnost



## Obsah

Úvod.....	- 10 -
1. Lineární zdroje .....	- 11 -
1.1 Síťové transformátory .....	- 11 -
1.2 Usměrňovače.....	- 11 -
1.3 Stabilizátory .....	- 12 -
1.3.1 Třísvorkové stabilizátory napětí.....	- 12 -
1.3.2 Vicesvorkové stabilizátor.....	- 13 -
2 Spínané zdroje.....	- 15 -
2.1 Základní zapojení spínaných zdrojů .....	- 17 -
2.1.1 Rezonanční spínaný zdroj .....	- 17 -
2.1.2 Propustné zapojení .....	- 18 -
2.1.3 Akumulační zapojení .....	- 18 -
2.1.4 Kombinované zapojení .....	- 19 -
2.1.5 Dvoučinné zapojení.....	- 20 -
2.1.6 Můstkové zapojení - polomost.....	- 20 -
2.1.7 Můstkové zapojení – plný most .....	- 21 -
2.2 Způsoby řízení spínaných zdrojů .....	- 22 -
2.2.1 Pulzně šířková modulace .....	- 22 -
2.2.2 Proudová zpětná vazba.....	- 23 -
2.2.3 Rezonanční mód.....	- 24 -
2.3 Možnosti zapojení spínaných zdrojů bez indukčnosti .....	- 25 -
2.4 Spínané zdroje s integrovanými obvody TOPSwitch .....	- 26 -
2.4.1 Činnost a popis obvodů TOP100 – 104 .....	- 26 -
2.4.1.1 Popis jednotlivých vývodů.....	- 27 -
2.4.2 Činnost a popis obvodů TOP200 – 204, 214 .....	- 28 -
2.4.3 Činnost a popis obvodů TOP209 – 210 .....	- 28 -
2.4.3.1 Popis jednotlivých vývodů.....	- 28 -
2.4.4 Činnost a popis obvodů TOP221-227 .....	- 29 -
2.4.4.1 Popis jednotlivých vývodů.....	- 29 -
2.4.5 Činnost a popis obvodů TOP232 – 234 .....	- 29 -
2.4.5.1 Popis jednotlivých vývodů.....	- 30 -

2.4.6	Činnost a popis obvodů TOP412 – 414 .....	- 31 -
2.4.7	Činnost a popis obvodů TOP242 – 249 .....	- 31 -
2.4.7.1	Popis jednotlivých vývodů .....	- 32 -
2.5	Spínané zdroje s časovačem 555 .....	- 33 -
2.5.1	Obvod 555 .....	- 33 -
2.5.2	Zdroje snižující napětí .....	- 34 -
2.5.3	Provozní omezení .....	- 34 -
2.5.4	Obvod MC34063 .....	- 35 -
3	Detailní popis spínaných zdrojů .....	- 36 -
3.1	Spínaný zdroj Mean Well RT – 85C .....	- 37 -
3.1.1	Popis hlavních částí spínaného zdroje RT – 85C .....	- 37 -
3.2	Spínaný zdroj Mean Well PT – 65C .....	- 38 -
3.2.1	Popis hlavních částí spínaného zdroje PT – 65C .....	- 39 -
3.3	Měřicí přípravek se spínaným zdrojem .....	- 40 -
3.3.1	Mean Well RT – 85C .....	- 40 -
3.3.2	Mean Well PT – 65C .....	- 41 -
4	Laboratorní úloha se spínanými zdroji Mean Well PT – 65C a RT – 85C .....	- 42 -
4.1	Zadání .....	- 42 -
4.2	Teoretický rozbor .....	- 42 -
4.3	Schéma zapojení .....	- 43 -
4.4	Postup měření .....	- 44 -
4.5	Tabulky naměřených hodnot .....	- 45 -
4.6	Změřené průběhy .....	- 48 -
4.6.1	Spínaný zdroj Mean Well PT – 65C .....	- 48 -
4.6.2	Spínaný zdroj Mean Well RT – 85C .....	- 53 -
4.7	Použité přístroje .....	- 57 -
	Závěr .....	- 58 -
	Literatura	
	Přílohy	

## Úvod

Možná si to neuvědomujeme, ale spínané zdroje jsou součástí našeho každodenního života. Nachází se všude kolem nás. I když je nevidíme, používáme je každý den. Jedná se o tiskárny, počítače, nabíječky a mnoho dalších multimediálních zařízení. Nalezneme je v zařízeních, kde je nutné převést síťové střídavé napětí na stejnosměrné, zpravidla na nižší stejnosměrné napětí.

Cílem práce je více přiblížit funkci a činnost spínaných zdrojů a na toto téma vytvořit měřicí přípravek pro laboratorní úlohu.

Bakalářská práce se v úvodu zabývá lineárními zdroji, jelikož výstupní obvody spínaných zdrojů jsou nejčastěji navrženy jako lineární zdroj. Ty jsou tvořeny usměrňovači a stabilizátory.

Dále se v bakalářské práci zmiňují o spínaném zdroji. Spínané zdroje mají velké množství zapojení s indukčností, jsou to například rezonanční, akumulační, dvoučinné atd. Ale jsou i zapojení bez indukčnosti, s integrovanými obvody TOPSwitch nebo s časovačem 555.

V závěru bakalářské práce jsou detailně rozebrány spínané zdroje firmy Mean Well PT – 65C a RT – 85C. Důkladně jsem proměřil funkční parametry na mnou zhotovených měřicích přípravcích. A na jejímž základě je vytvořena laboratorní úloha.

## 1. Lineární zdroje

Lineární zdroj je zařízení, které nám umožní snížit síťové napětí 230 V na nižší usměrněné napětí. Skládá se z transformátoru, který snižuje napájecí napětí na nižší, námi požadované napětí. Dále v lineárním zdroji můžeme nalézt usměrňovač napětí a stabilizátor. [4]

### 1.1 Síťové transformátory

Síťový transformátor převádí síťové napětí na napětí nižší hodnoty. Známe mnoho druhů transformátorů, nejčastěji se ve zdrojích používá klasický transformátor nebo toroidní. [4]

Klasické jádro transformátoru je tvořeno z transformovaných plechů nebo se také využívají feritová jádra. Tyto transformátory se využívají v obyčejném zdroji kvůli tomu, že zde nevadí širší magnetické pole, které se tvoří okolo transformátoru. Ve zvukové technice se nejčastěji používá toroidní transformátor, protože okolo transformátoru je velice malé magnetické pole a to nezpůsobuje rušení zpracovávaného signálu v zesilovači. [4]

### 1.2 Usměrňovače

Usměrňovače jsou používány k přeměně střídavého proudu na stejnosměrný proud. V oblasti napájecích zdrojů se ustálilo několik základních zapojení usměrňovačů. Dělí se podle požadovaného proudu, napětí a zvlnění. Všechny tyto typy usměrňovačů se užívají převážně s nabíjecím kondenzátorem, který se vynechává jen výjimečně. [1] [5]

Typy usměrňovačů a jejich vlastnosti lze shrnout do dvou skupin:

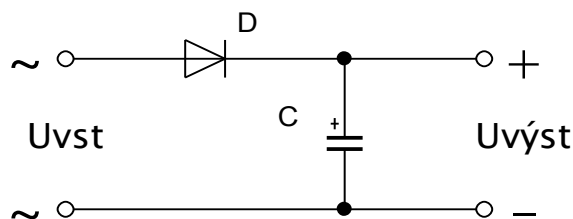
A) Pro síťový kmitočet 50 Hz:

- 1) Jednocestný (malé proudy, vysoká napětí, velké zvlnění)
- 2) Dvoucestný (velké proudy, nízká napětí, malé zvlnění)
- 3) Můstkový (Graetz) (velké proudy, střední napětí, malé zvlnění)
- 4) Zdvojovač (Greinacherův) (malé proudy, vysoká napětí, velké zvlnění)
- 5) Násobiče (velmi malé proudy, velmi vysoká napětí, velké zvlnění)

B) Pro vyšší kmitočty okolo 100 Hz:

- 1) Jednocestný (vysoké proudy, nízké napětí, malé zvlnění)
- 2) Dvoucestný (velké proudy, nízké napětí, malé zvlnění, omezuje stejnosměrné sycení jádra transformátoru)

Nejjednodušším usměrňovačem je jednocestný usměrňovač, ten je zobrazen na obr. 1.1. Skládá se z jedné usměrňovací diody a filtračního kondenzátoru. Jeho nevýhodou je že se používá pro malé proudy a zvlnění na jeho výstupu je velké. [1] [4]



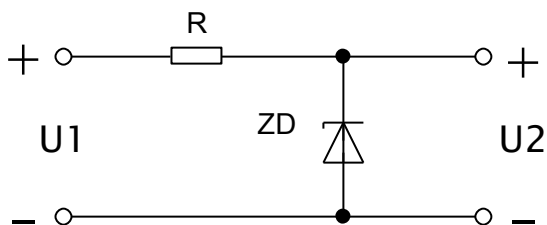
Obr. 1.1 Jednocestný usměrňovač s nabíjecím kondenzátorem [1]

### 1.3 Stabilizátory

Stabilizátory jsou obvody, které umožňují stabilizovat výstupní proud nebo napětí při změnách výstupního zatěžovacího proudu, vstupního síťového napětí a teploty okolí. Nejčastěji se používá ve spojení s usměrňovači, protože napomáhají filtrovat střídavé složky usměrněného napětí (zvlnění). [1][4]

Je velmi mnoho druhů stabilizátorů, od nejjednoduššího se Zenerovou diodou po integrované třísvorkové či vícesvorkové stabilizátory. [1][4]

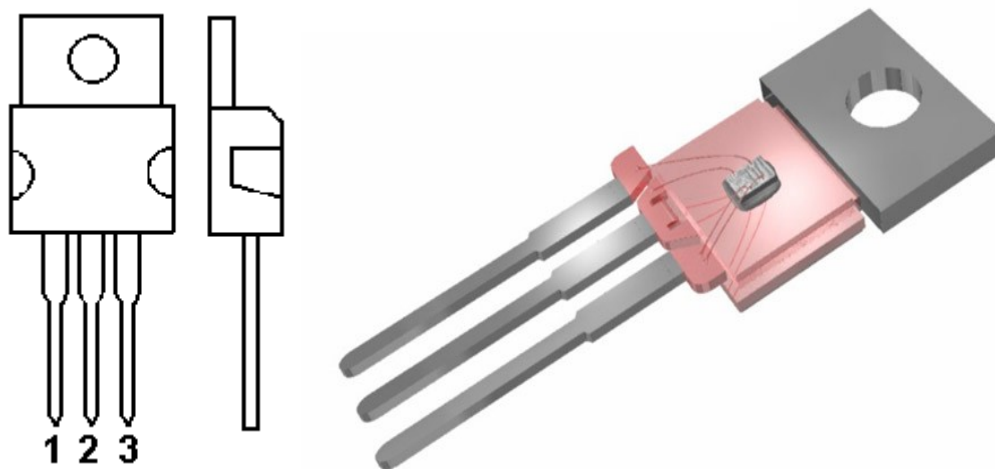
Nejjednodušší zapojení diody jako stabilizátor napětí patří zapojení se Zenerovou diodou. Vlastnosti Zenerovy diody se využívají při jejím zapojení v závěrném směru. Její závěrné napětí téměř neroste, ale dochází k nárůstu proudu. Proto je nutné volit Zenerovu diodu podle potřeby velikosti výstupního napětí. Toto zapojení je zobrazeno na obr. 1.2. [1][4]



Obr. 1.2 Zapojení stabilizátoru se ZD

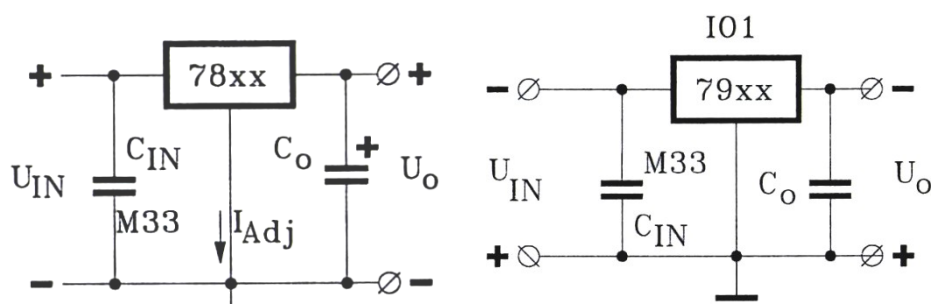
#### 1.3.1 Třísvorkové stabilizátory napětí

Máme pět základních typů lineárních stabilizátorů. Jsou to záporné, kladné, s pevným výstupem, plovoucí a sledovací stabilizátory. Většinou jsou stabilizátory vyráběny v pouzdrech TO220. Maximální proud těchto stabilizátorů bývá od 1 do 3 A. [4]



Obr. 1.3 Vzhled pouzdra TO220 [6][7]

Kladné stabilizátory jsou značeny 78xx a jejich vývody jsou popsány takto: 1 – vstup, 2 – zem, 3 – výstup. Záporné stabilizátory jsou značeny 79xx a jejich vývody jsou popsány takto: 1 – zem, 2 – vstup, 3 – výstup. [7]



Obr. 1.4 Základní zapojení stabilizátorů 78xx a 79xx [1]

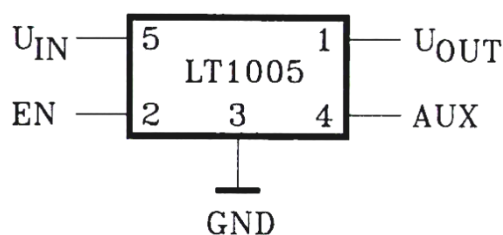
Výhodou těchto stabilizátorů je jednoduché zapojení i jejich montáž, přesná stabilizace napětí a cena. Velkou nevýhodou řady 79xx je, že nedokážou stabilizovat naprázdno. Zaručené stabilizované napětí je až při odběru 5 mA. [4]

### 1.3.2 Vícesvorkové stabilizátor

Je celá řada nejrůznějších typů, integrovaných lineárních stabilizátorů s více vývody, než je jenom vstup, výstup a společná zemní elektroda. Další elektrody jde podle funkce rozdělit do několika základních skupin:

- elektrody, umožňující dostavení nebo nastavení hodnoty výstupního napětí a obvykle jsou značeny jako nastavovací (SET),

- b) elektrody, umožňující nastavit omezení výstupního proudu, označené jako CURRENT LIMIT nebo SENSE – obvykle mezi touto elektrodou a výstupem se umísťuje odpor, na kterém vzniká úbytek průchodem proudu, aktivující limitaci výstupního proudu,
- c) elektrody pomocných výstupních napětí, buď samostatně, nebo spojením s hlavním výstupem napětí,
- d) elektroda, umožňující pomocí signálu (většinou v úrovni TTL) výstup zdroje zapnout či vypnout, je označována jako EN (enable), nebo SHDN (shutdown),
- e) elektrody, na které je vyvedeno vnitřní referenční napětí a elektrody pro vstup vnějšího napětí. [1]



*Obr. 1.5 Obvod LT1005M [1]*

Příklad vícesvorkového stabilizátoru je na obr. 1.5. A jeho svorky jsou popsány takto: 1 –  $U_{OUT}$  výstupní napětí, 2 – EN blokovací vstup, 3 – GND zem, 4 – AUX pomocný výstup napětí, 5 –  $U_{IN}$  vstupní napětí.

## 2 Spínané zdroje

Spínané zdroje se v posledních letech stali velmi populární. Jsou převažující skupinou na trhu. Umožňují vytvářet kompaktní přístroje s malou hmotností a s velkou účinností. Praktický návrh spínaných zdrojů je však mnohem komplikovanější, než u zdrojů lineárních a náročnost na výběr součástek jejich návrh dále komplikuje. S rostoucím kmitočtem a rostoucí kvalitou součástek se dále poměr parametrů mění ve prospěch spínaných zdrojů. Srovnání lineárních a spínaných zdrojů můžeme vidět v tab. 2.1. [1]

Parametr	Spínaný zdroj	Lineární zdroj
Účinnost	75 [%]	30 [%]
Velikost	0,2 [W/cm <sup>3</sup> ]	0,05 [W/cm <sup>3</sup> ]
Váha	100 [W/kg]	20 [W/kg]
Výstupní zvlnění	50 [mV]	5 [mV]
Šumové napětí	200 [mV]	50 [mV]
Odezva na skok	1 [ms]	20 [μs]
Doba náběhu	20 [ms]	2 [ms]
Cena	Přibližně konstantní	Roste s výkonem

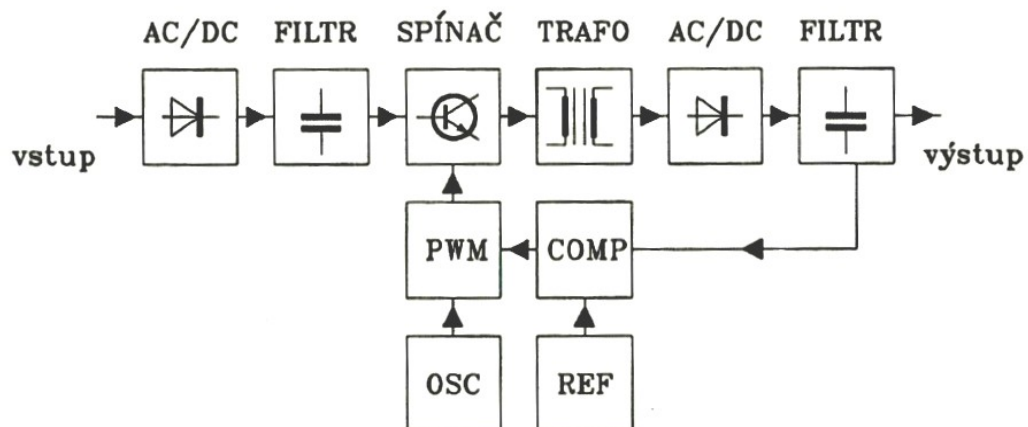
Tab. 2.1 Porovnání spínaných a lineárních zdrojů [1]

Do spínaných zdrojů je přivedeno síťové napětí o kmitočtu 50 Hz. To se usměrní na diodách a pokračuje na vstupní filtrační kondenzátor. [4]

Usměrněním vstupního napětí vzniká potřeba převést toto napětí na nižší hodnotu. Proto je nutné přeměnit toto napětí na střídavou složku. To provádí spínače. Jedná se o vysokofrekvenční tranzistory, které jsou schopny při kmitočtech od 20 kHz do 1 MHz vytvářet střídavý obdélníkový průběh. Poté se převede napětí na nižší hodnotu na transformátoru nebo na indukčnosti. Na transformátory jsou kladeny poměrně velké požadavky, jelikož celková účinnost celého zdroje závisí hlavně na nich. Používají se transformátory s feritovým jádrem, protože klasická jádra z trafoplechů jsou pro tak vysoké kmitočty nevhodné. Následně se převedené výstupní napětí opět usměrňuje a filtruje. Zde jsou kladeny velké nároky na diody. Musí být stavěny na vysoké frekvence a ne jen na klasický síťový kmitočet 50 Hz. Diody musí mít malou spínací a vypínací dobu, a také malou kapacitu PN přechodu. Na výstupní filtr nejsou již kladeny tak vysoké nároky. Čím je frekvence vyšší na výstupu z usměrňovače, tím je potřebná kapacita kondenzátoru menší. Vzhledem k tomu, že se navíc jedná o usměrňování obdélníkového průběhu, tak zvlnění za diodami je již velmi malé. Proto je poměrně malá kapacita schopná bez problémů zbylé zvlnění vyfiltrovat. [4]

Z výstupního filtračního kondenzátoru jde výstupní napětí přes zpětnou vazbu do komparátoru. Jedná se o obvod, který porovnává výstupní napětí s napětím referenčním. To je vyrobeno ve vedlejším obvodu. Jejich rozdíl směřuje poté do pulzně šířkového modulátoru, kde navíc vstupuje signál z oscilátoru. Z modulátoru jde signál na vysokofrekvenční tranzistor, kde se usměrněné síťové napětí mění na vysokofrekvenční napětí. [4]





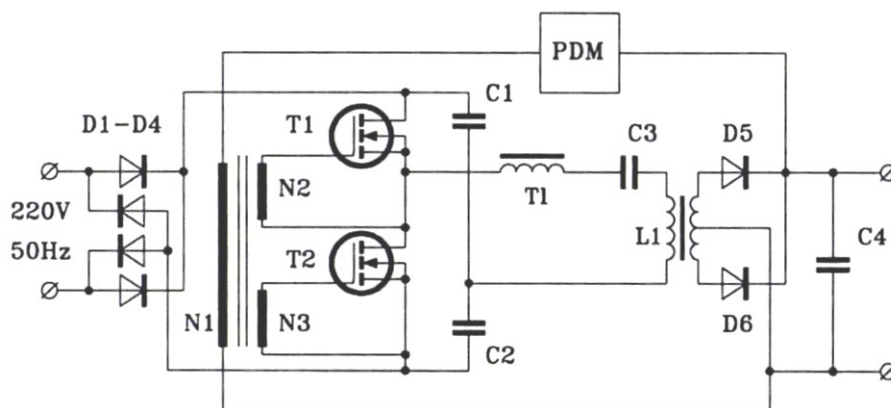
Obr. 2.1 Blokové schéma spínaného zdroje [1]

Typ zapojení	Rozsah výkonů	Aplikace
Měniče DC/DC	Do 5 [W]	Získání jiné hodnoty napětí, než poskytuje hlavní zdroj přístroje
Měnič s transformátorem	Do 10 [W]	Získání stejnosměrných napětí do 30 [V] jako náhrada za bateriové napájení
Blokovací oscilátory	Do 20 [W]	Získávání střídavých napětí ze stejnosměrného napětí akumulátorů
Akumulující měniče	Do 50 [W]	Jednoduché spínané zdroje ze síťového napětí
Propustné měniče	Do 100 [W]	Jednoduché spínané zdroje ze síťového napětí
Dvojčinné polomosty	Do 200 [W]	Většina spínaných zdrojů v PC
Dvojčinné plné mosty	Do 500 [W]	Řízení motorů

Tab. 2.2 Oblasti užití jednotlivých typů měničů [1]

## 2.1 Základní zapojení spínaných zdrojů

### 2.1.1 Rezonanční spínaný zdroj



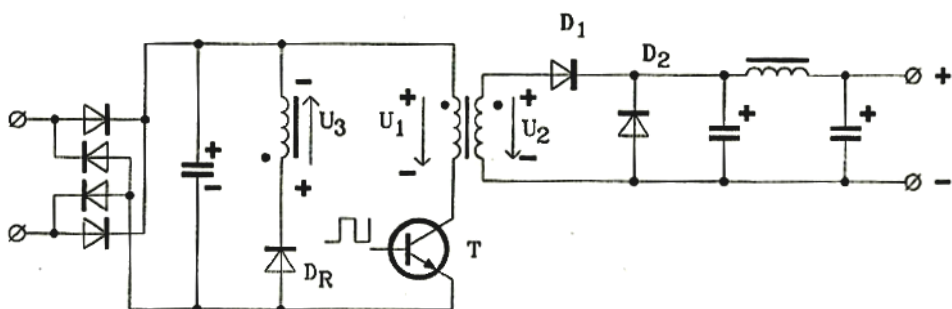
Obr. 2.2 Rezonanční spínaný zdroj [1]

Rezonanční spínané zdroje pracují na principu SRPS = series resonant power supply, tj. výkonový zdroj na principu sériové rezonance. Síťové napětí se vyfiltruje a usměrní. Sériový rezonanční obvod tvoří kondenzátor  $C_3$  a cívka  $L_1$ , která je zároveň primárním vinutím transformátoru. Na obr. 2.2 je zobrazen obvod PDM, který budí pomocný transformátořek pulzním kmitočtem  $f_0$  na vinutí  $N_1$ . Vinutí  $N_2$  a  $N_3$  slouží k časovanému otvírání obou spínacích tranzistorů. Pokud se změní hodnota výstupního napětí, tak PDM obvod změní frekvenci, aby se co nejvíc podobala té rezonanční. Díky tomu rezonančním obvodem začíná protékat menší nebo větší proud, a proto se snižuje nebo zvyšuje jeho impedance. Tím se snižuje nebo zvyšuje výstupní napětí na potřebnou stanovenou hodnotu. [1][4]

Vlastnost	Popis
Pracovní frekvence	0,5 až 1 [MHz] SINUS
Rozměry	Malé rozměry transformátoru
Šumové poměry	Jsou minimalizované spínáním v nule
Účinnost	Vysoká, obvykle nad 80 [%]
Poměr špičkového a pracovního proudu	Vysoký vzhledem ke zpětnovazebnímu systému s vysokým zesílením
Řízení obvodu	Pomocí běžných integrovaných typů VCO a PWM

Tab. 2.3 Vlastnosti SRPS [1]

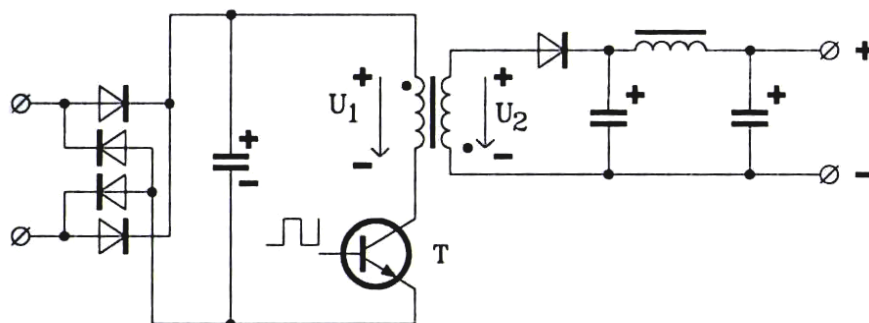
### 2.1.2 Propustné zapojení



Obr. 2.3 Propustné zapojení spínaného zdroje [1]

Propustné zapojení spínaného zdroje se vyznačuje, přímým přenosem energie přes transformátor. Proud zároveň teče primárním i sekundárním vinutím za předpokladu sepnutého spínaného tranzistoru. Velmi záleží na polaritě výstupní diody a polaritě vinutí. Je-li začátek vinutí na stejné straně, a pokud je přiváděno kladné napětí na začátek primárního vinutí, tak na sekundárním výstupu bude potenciál stejný. Jestliže budou vinutí opačná, bude na výstupu záporné napětí. Proto je nutné otočit diody. Důležitým prvkem v obvodu je vinutí u diody  $D_R$ , na kterém je napětí  $U_3$ . Jedná se o rekuperační diodu s rekuperačním vinutím. Toto vinutí indukuje napětí na sekundáru jen tehdy, není-li sepnut tranzistor. [1][4]

### 2.1.3 Akumulační zapojení

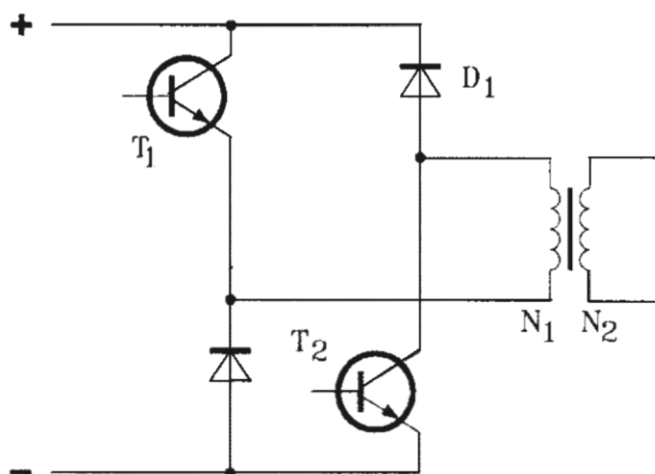


Obr. 2.4 Akumulační zapojení spínaného zdroje [1]

Akumulační zapojení se liší od propustného zapojení tím, že neobsahuje rekuperační diodu a vinutí. Vinutí transformátoru jsou proti sobě otočena. Rekuperační vinutí v tomto případě není nutné. Pouze by zlepšovalo účinnost přenosu energie, která se akumuluje v primárním vinutí, když je rozepnut tranzistor. Sepnutím tranzistoru vinutím začne procházet

proud, a současně se na sekundárním vinutí naindukuje napětí  $U_2$  (v opačné polaritě než je zobrazeno na obr. 2.4). Až se rozezne tranzistor, tak se na sekundárním vinutí naindukuje napětí v polaritě, kterou je schopna usměrňovací dioda propustit. Zdroje s takovým zapojením se využijí pro výkony od 20 do 50 W. Pracovní kmitočet těchto spínaných zdrojů závisí na kvalitě tranzistoru, diod a transformátoru a je v rozmezí od 50 do 500 kHz. Jejich účinnost bývá okolo 80%. [1][4]

#### 2.1.4 Kombinované zapojení

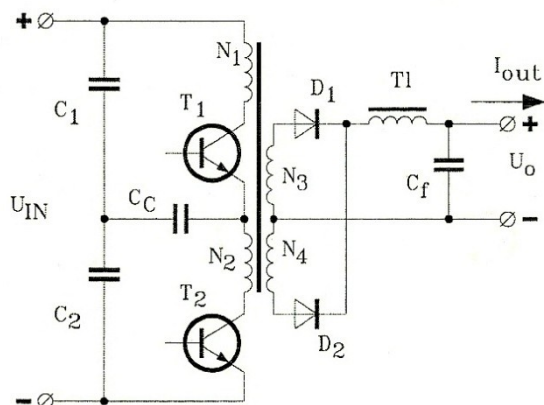


Obr. 2.5 Kombinované zapojení [1]

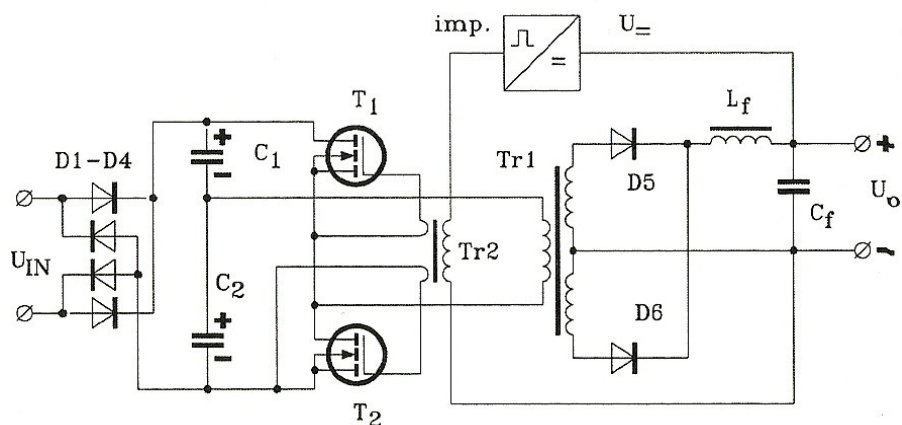
Kombinovaná zapojení se používají tehdy, když rekuperační vynutí, komplikuje realizaci zapojení. Na obr. 2.5 je znázorněno kombinační zapojení, které se skládá ze dvou rekuperačních diod a dvou tranzistorů. [4]

Když oba tranzistory sepnou, proteče proud přes tranzistor  $T_1$  na vinutí  $N_1$  a poté pokračuje přes tranzistor  $T_2$  k zápornému pólu. Jestliže jsou uzavřeny tyto tranzistory, proud protéká od záporného pólu přes diodu  $D_2$  na vinutí  $N_1$  a poté přes diodu  $D_1$  teče ke kladnému pólu. Jestli se jedná o zapojení propustné nebo akumulární, rozhoduje polarita zapojení usměrňovací diody, která je připojena na sekundárním vinutí. [4]





Obr. 2.7 Dvoucestný polomost [1]

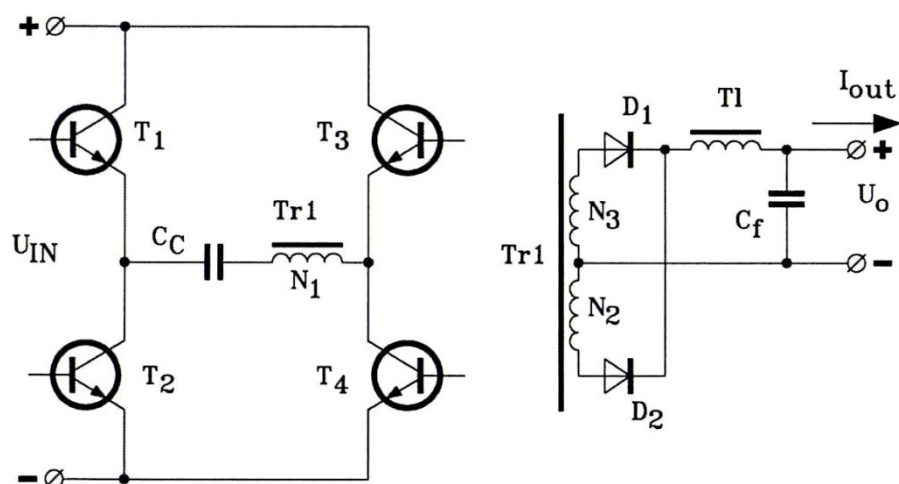


Obr. 2.8 Kompletní zapojení spínaného zdroje s polomostem z tranzistorů NMOS [1]

### 2.1.7 Můstkové zapojení – plný most

Zapojení plný most je znázorněno na obr. 2.9 a skládá se ze čtyř shodných tranzistorů, jeden v každé větvi. Toto zapojení se používá pro nejvyšší výkony do 1 kW, kdy proud z kondenzátorů polomostu nestáčí a je nutno výkon odebírat ze skutečně tvrdého zdroje. Nevýhodou tohoto zapojení je komplikovanější buzení jednotlivých tranzistorů, kde současně spínají tranzistory  $T_1$  a  $T_4$  a v druhé půlperiodě  $T_2$  a  $T_3$ . [1]

Na místo jednotlivých tranzistorů lze použít tranzistory MOS s indukovaným kanálem, případně tranzistory JFET. Při použití bipolárních tranzistorů se často používá Darlingtonovy dvojice v jednom pouzdře pro snížení nároků na ovládací příkon obvodů. Tranzistory ve všech zapojení jsou ohroženy indukčními špičkami, při vypínání indukční zátěže, což je primár transformátoru je nutno dostatečně napětově dimenzovat a použít ochranné obvod D, ZD, RC členy. [1]

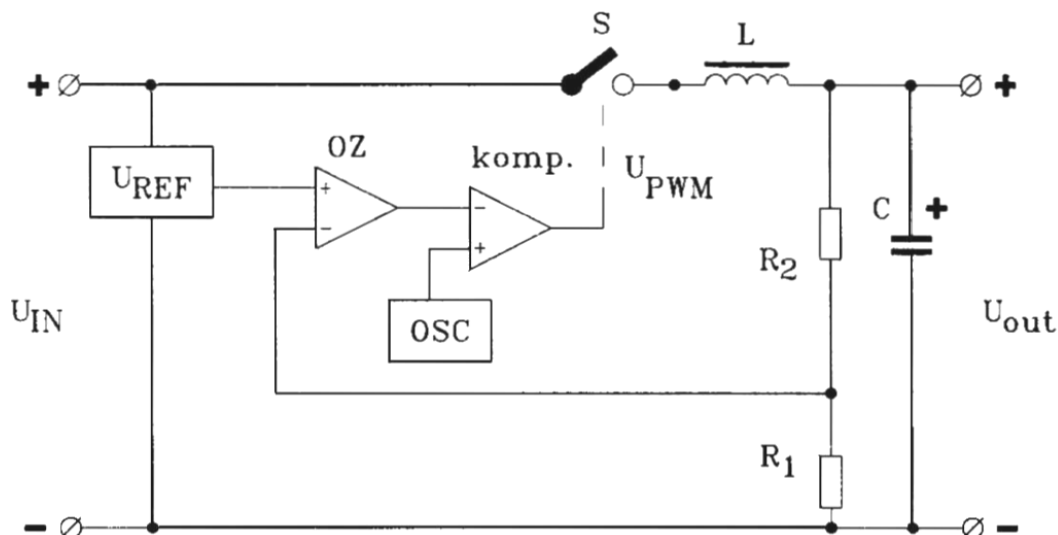


Obr. 2.9 Plný most [1]

## 2.2 Způsoby řízení spínaných zdrojů

### 2.2.1 Pulzně šířková modulace

Pulzně šířková modulace se značí zkratkou PWM tato zkratka pochází z anglického výrazu „Pulse width modulated“. Tento způsob řízení spínaných zdrojů porovnává rozdíl napětí mezi výstupním napětím zdroje s referenčním napětím oscilátoru. Díky tomuto rozdílu se snižuje nebo zvyšuje hodnota budícího napětí, které se přivádí na transformátor, aby se pak výstupní napětí co možná nejvíce rovnalo referenční hodnotě. [4]



Obr. 2.10 Zapojení spínaného zdroje s pulzně šířkovou modulací [1]

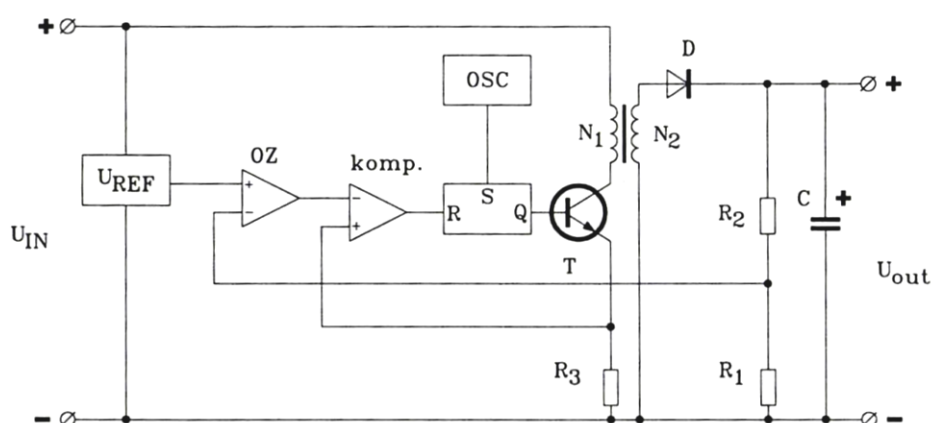
Referenční napětí získávána z  $U_{REF}$  je přiváděno na neinvertující vstup operačního zesilovače. Výstupní hodnota zmenšená pomocí děliče napětí je přivedeno na invertující vstup operačního zesilovače. Tento zesilovač zesiluje pouze odchylku těchto dvou napětí. Výstupní signál operačního zesilovače jde přímo na invertující vstup komparátoru. A na neinvertující vstup komparátoru je přiváděn pilovitý signál z oscilátoru. Výsledkem je pulzně šířkově modulovaný signál na výstupu komparátoru, který jde přímo na spínač S. Jakmile spínač sepne začne se dobíjet kondenzátor  $C$  na výstupu, a tím se reguluje jeho napětí. [4]



Obr. 2.11 Průběh napětí ve spínaném zdroji s pulzně šířkovou modulací [1]

Výstupní napětí musí vždy být větší než referenční. Pokud to tak není je výstupní napětí z operačního zesilovače než pilovitý signál z oscilátoru a tím se na výstupu objeví pulzně šířkově modulované napětí, které spíná spínač. Nevýhodou tohoto řízení je proměnná frekvence a střída. Problém může být výstupní napětí vyfiltrovat, a proto se na výstupu mohou objevovat zvlnění. [4]

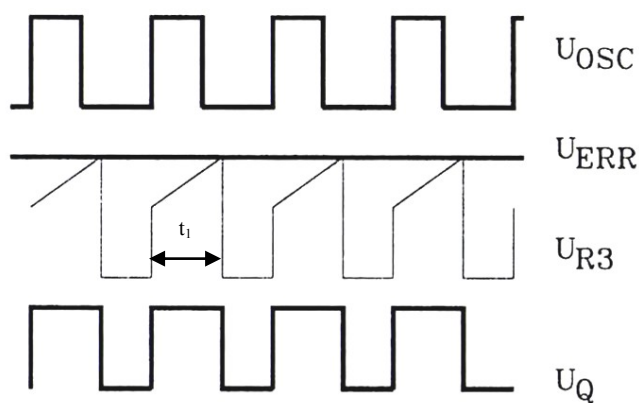
### 2.2.2 Proudová zpětná vazba



Obr. 2.12 Zpětná proudová vazba [1]

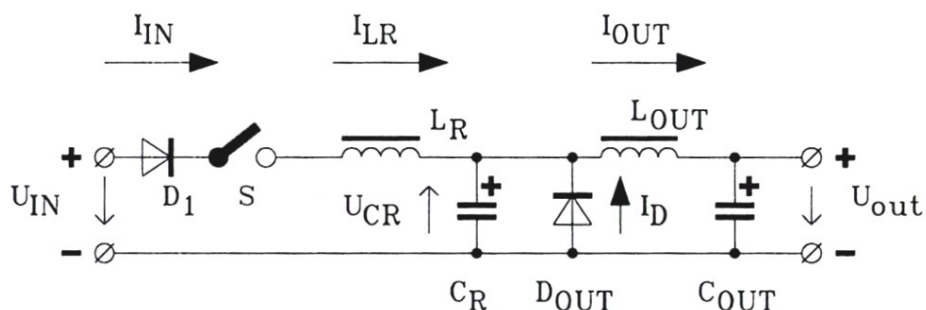


V proudové zpětné vazbě zjišťuje operační zesilovač odchylku napětí referenčního od výstupního napětí. Zesílený rozdíl napětí jde na komparátor, zde je porovnáván s napětím na rezistoru  $R_3$ , které je přímo úměrné emitorovému proudu spínaného tranzistoru. Rozdíl těchto napětí je porovnáván, protože emitorový proud je úměrný velikosti výstupního napětí  $U_{OUT}$ . Funkce proudové zpětné vazby je taková, že jakmile se nadměrně zvýší kolektorový proud tranzistoru, zvýší se výstupní napětí  $U_{OUT}$ . Komparátor se zablokuje klopný obvod RS a to způsobí, že se žádný impuls nedostane na spínací tranzistor. A díky tomu se sníží výstupní napětí. Pokud se výstupní napětí  $U_{OUT}$  sníží, tak se zvýší hladina napětí, které je na výstupu z komparátoru, čímž se čas  $t_1$  prodlouží. A tento čas zajistí zvýšení kolektorového proudu na spínacím tranzistoru. Dojde k překlopení klopného obvodu RS do stavu logické 1 a to se z důvodu náběžné hrany signálu z oscilátoru  $U_{OSC}$  a tím dojde k sepnutí tranzistoru. Se zvýšenou hodnotou napětí z komparátoru se doba vypnutí klopného obvodu RS prodlouží. Tím se zvýší proud procházející spínaným tranzistorem a výstupním napětím  $U_{OUT}$ . [4]



Obr. 2.13 Průběh signálu proudové zpětné vazby [1]

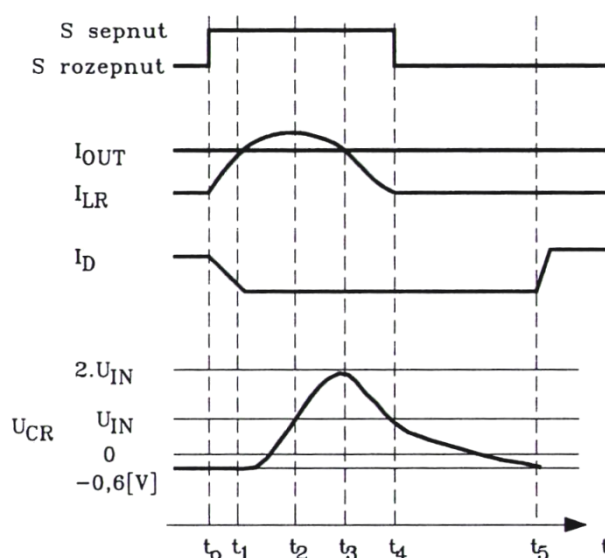
### 2.2.3 Rezonanční mód



Obr. 2.14 Princip rezonančního zdroje [1]

Rezonanční mód je na rozdíl od rezonančního zapojení (obr. 2.2) bez transformátoru. Princip tohoto měniče můžeme vidět na obr. 2.14. Čím větší množství energie je třeba přenést přes zdroj, tím vyšší frekvenci spínání musí mít spínač. Doba spínání musí být stejná jako na výstupním filtru  $L_{OUT}$  a  $C_{OUT}$ . Frekvence spínání spínače S je odvozená od výstupního napětí přes odpor VCO (Voltage Controlled Oscillator). [1][4]

Zásadní výhodou těchto zapojení je to, že zatím co spínací prvek pracuje v režimu sepnuto – rozepnuto, tak zbytek obvodu pracuje se spojitými průběhy. Díky tomu se značně sníží vlnění, šum, proudové a napěťové špičky. Snížením těchto špiček se zvyšuje elektromagnetická kompatibilita, jelikož nevyřazuje zdroj tak velké elektromagnetické pole do prostoru. Časování těchto zdrojů vidíme na obr. 2.15. [1][4]



Obr. 2.15 Časování rezonančního zdroje [1]

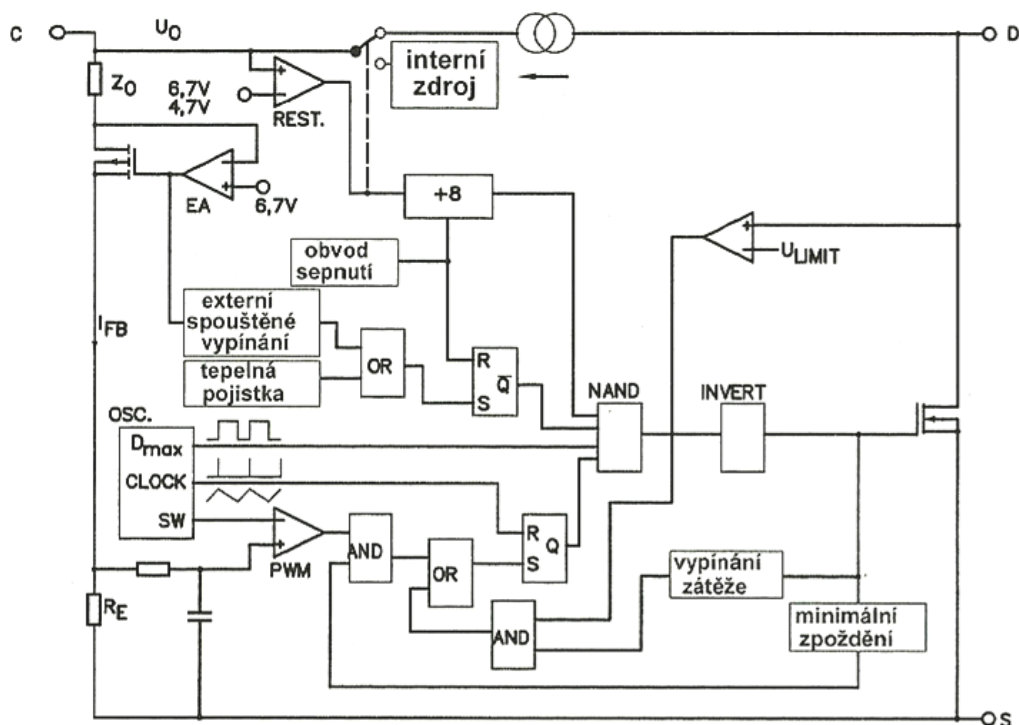
### 2.3 Možnosti zapojení spínaných zdrojů bez indukčnosti

Spínané zdroje lze konstruovat také bez indukčnosti. Tyto zdroje fungují na různých principech přepínání kondenzátorů. K těmto zapojením se využívá integrované obvody. Jednotlivé integrované obvody dokáží například invertovat vstupní napětí, zdvojnásobovat vstupní napětí nebo umí generovat obě polarity výstupního napětí. Možnosti funkcí integrovaných obvodů jsou různé a jsou schopny v závislosti na zapojení dělat i jiné funkce než jsou zde uvedeny. Hlavním předností uvedených zdrojů je jejich mnohem menší elektromagnetické pole okolo sebe a také menší hmotnost. Mezi výrobce integrovaných obvodů patří například firmy Motorola, Maxim, Linear technology, Texas instruments nebo Analog devices. [1][4]

## 2.4 Spínané zdroje s integrovanými obvody TOPSwitch

### 2.4.1 Činnost a popis obvodů TOP100 – 104

Obvody TOPSwitch zjednodušují návrh zapojení spínaných zdrojů. Díky tomu je možné dosáhnout u spínaných zdrojů účinnost vyšší než 90 %. Blokové schéma Obvodu TOPSwitch je zobrazen na obr. 2.16. [2]



Obr. 2.16 Blokové schéma zapojení TOP100 – 104 [2]

Hlavní výhodou obvodů TOPSwitch je zjednodušený návrh zapojení, mnoho existujících návodů k realizaci, existence integrovaného PWM budiče a 350 V spínaný MOSFET tranzistor ve standardním pouzdře TO220 s jediným vnějším kondenzátorem pro správnou činnost. Systém ochrany je kombinovaný s autorestartem a testováním překročení proudu v každém cyklu činnosti. Integrovaná tepelná ochrana chrání celý systém proti přetížení. Vysoká přizpůsobivost zapojení umožňuje použít zvyšující, snižující, propustné i zpětnovazební zapojení, kde je snadné oddělení sekundární strany optickou vazbou. Obvod podporuje spojitý i nespojitý režim činnosti spínaného zdroje. [2][4]

Když srovnáme obvody TOPSwitch s obvody, které mají samostatně od sebe spínaný tranzistor, oscilátor, pulzně šířkovou modulaci, lze říci, že integrované obvody velmi zjednodušují zapojení, zvýší spolehlivost a účinnost, a snižuje váhu celé desky zdroje. [2][4]

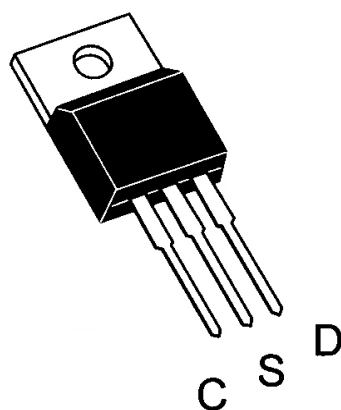
Tyto obvody jsou určeny pro zdroje se vstupním napájecím napětím 110 – 220 V. Využívají se převážně v konstrukci do 60 W. A jsou vhodné pro DC/DC měniče a lze je použít přibližně do výkonu 25 W. [2][4]

#### 2.4.1.1 Popis jednotlivých vývodů

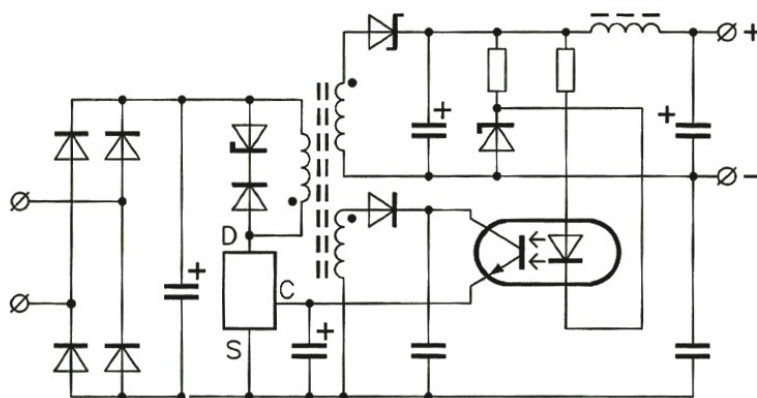
**DRAIN (D)** – Tento vývod je kolektorem tranzistoru MOSFET. Dále se z tohoto vývodu odebírá vnitřní proud pro zpětnovazební obvody přes vnitřní spínaný vysokofrekvenční zdroj. [2][4]

**CONTROL (C)** – Tento vývod je vstupem chybového zesilovače a zpětné vazby pro řízení změnou střidy. Vnitřní zpětnovazební regulátor, zapojený jako obvod paralelního členu. Je také použit jako vstup pro zpětnovazební obvod a obvody automatického resetu a jako vstupní svorka pro připojení kompenzačního kondenzátoru. [2][4]

**SOURCE (S)** – Je emitorem interního tranzistoru MOSFET. Je společným bodem (zemí) primárního obvodu i zpětnovazebního napětí a referenčním bodem celého zapojení. [2][4]



Obr. 2.17 Tvar a označení vývodů TOP1xx a TOP2xx v pouzdru TO220 [2]



Obr. 2.18 Typické zapojení obvodu TOPSwitch [2]

### 2.4.2 Činnost a popis obvodů TOP200 – 204, 214

Obvody TOP200 – 204 jsou shodné svojí činností s řadou TOP100 – 104 liší se jenom svojí výkonovou částí, která je dimenzovaná na vyšší napětí. Takže budou uvedeny pouze odlišnosti obvodů, které byly v předchozí kapitole popsány. [2]

Obvody TOP200 – 204 obsahují integrovaný budič PWM a 700 V spínaný MOSFET tranzistor, který je opět ve standardním pouzdře TO220. Jsou vhodné pro zdroje se vstupním napájecím napětím od 110 – 230 V a s výkonem do 100 W. [2]

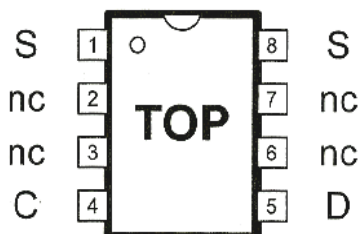
### 2.4.3 Činnost a popis obvodů TOP209 – 210

Tyto obvody mají zcela shodné blokové schéma se zapojením s řadou TOP1xx, které můžeme vidět na obr. 2.16. [2]

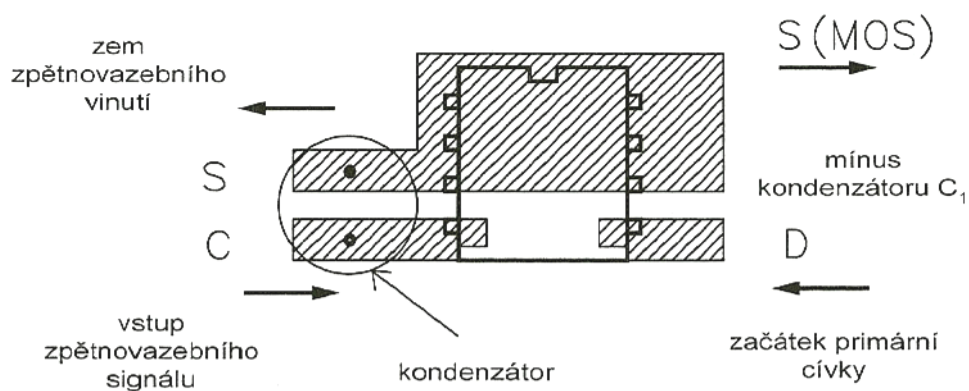
Obvody TOP209 a 210 obsahují budič PWM a 700 V spínaný MOSFET tranzistor v 8vývodovém DIL pouzdře. Jsou vhodné pro zdroje se vstupním napájecím napětím od 110 – 230 V a s výkonem do 8 W. [2]

#### 2.4.3.1 Popis jednotlivých vývodů

SOURCE (MOS) – Obvody 209 a 210 v provedení P pouzdra jsou 4vývodové, jelikož mají samostatný a oddělený vývod emitoru vysokonapěťového vnitřního MOSFET tranzistoru. [2]

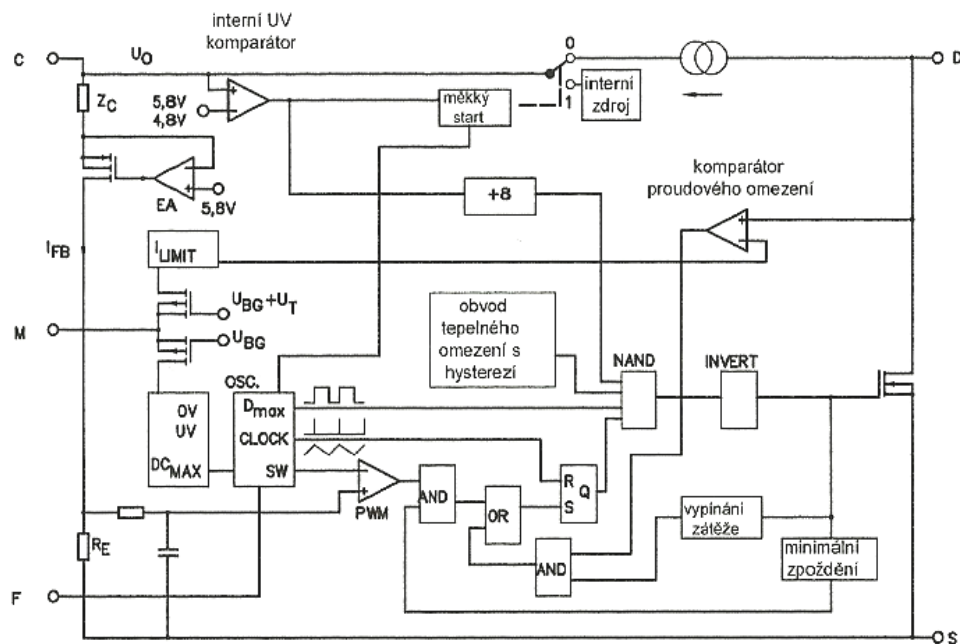


Obr. 2.19 Označení vývodů a tvar pouzdra DIL [2]



Obr. 2.20 Připojení obvodů TOP209 a 210 na plošném spoji [2]



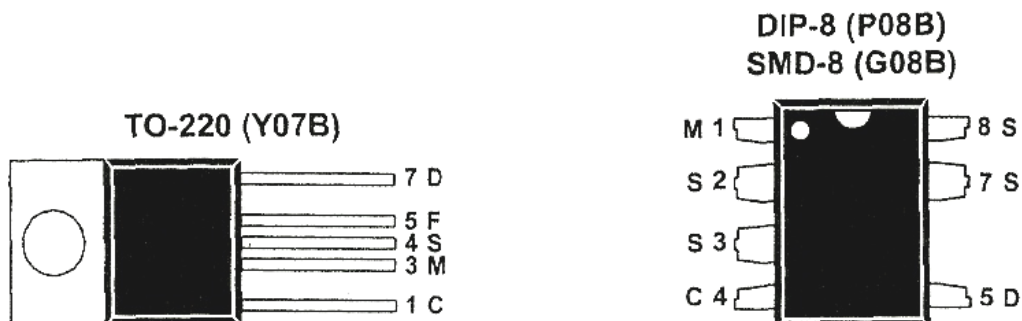


Obr. 2.22 Blokové schéma zapojení TOP232 – 234 [2]

#### 2.4.5.1 Popis jednotlivých vývodů

**MULTIFUNCTION (M)** – Tento vývod je vstupem pro funkce podpětí, přepětí, synchronizaci a omezení maximální střídy spínání při vstupním přetížení. A vnitřní nastavení proudového omezení, vnitřní vypínání a zapínání obvodu. Když spojíme tento obvod s vývodem SOURCE deaktivují se všechny tyto funkce a způsobí, že obvod TOPSwitch-FX začne pracovat v jednoduchém třívorkovém režimu. Stejně jako obvody TOPSwitch-II. [2]

**FREQUENCY (F)** – Nachází se pouze u typu pouzdra Y. S tímto vývodem je možné volit kmitočet. V případě spojení s vývodem SOURCE je kmitočet 130 kHz a v případě spojení s vývodem CONTROL je kmitočet o polovinu menší 65 kHz. [2]



Obr. 2.23 Uspořádání vývodů v pouzdrech TO220 a typu P a G [2]

#### 2.4.6 Činnost a popis obvodů TOP412 – 414

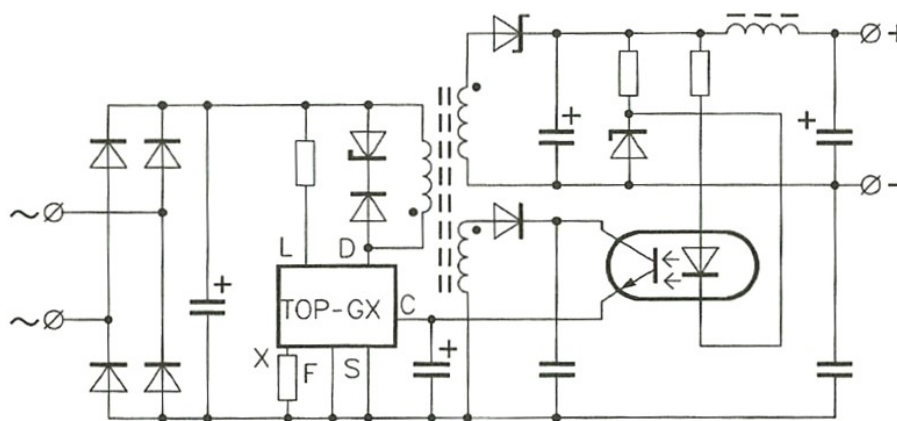
Obvody TOP412 – 414 mají většinu parametrů stejných jak u předcházející řady, liší se pouze v tom, že se vyrábí jenom v pouzdru SMD-8. Obvody jsou vhodné pro konstrukci DC/DC převodníku pro nižší rozsah stejnosměrného vstupního napětí. [2]

Minimální vstupní napětí [V]	Výstupní výkon [W]	
	TOP412G	TOP414G
18	3	4
24	5	6
36	7	9
48	9	12
60	12	15
72	18	18
90	18	21

Tab. 2.4 Výstupní výkon zdroje na minimálních hodnotách vstupního napětí [2]

#### 2.4.7 Činnost a popis obvodů TOP242 – 249

Obvody TOP242 – 249 nebo také značeny jako TOPSwitch-GX mají 6vývodová pouzdra, na rozdíl od předcházející řady. Mají většinu shodných funkcí s obvody popisovanými výše. Takže budou uvedeny pouze odlišnosti, od dosavadních obvodů. Nejvíce se odlišují tím, že mají zvýšený výkonový rozsah, který dosahuje, až 250 W. Standardně pracují na kmitočtu okolo 132 kHz nebo 66 kHz. V neaktivním stavu mají minimální příkon obvodů. [2]



Obr. 2.24 Typické zapojení obvodů TOPSwitch-GX [2]



#### 2.4.7.1 Popis jednotlivých vývodů

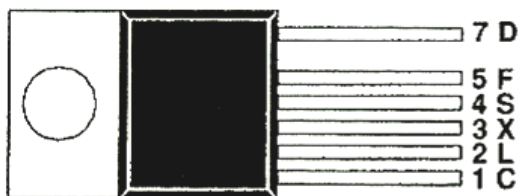
Základní vývody CONTROL (C), DRAIN (D) a SOURCE (S) mají stejnou funkci jako obvody TOPSwitch popisované výše. [2]

LINE-SENSE (L) – Jsou pouze u obvodů v pouzdrech typu Y. Je vstupem pro nastavení podpětí, přepětí, ovládání externím vypínáním, nastavení maximální hodnoty třídy spínání a synchronizaci. Když spojíme tento vývod s vývodem SOURCE všechny tyto funkce se vyřadí z činnosti. [2]

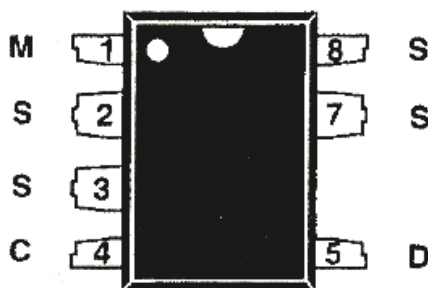
EXTERNAL CURRENT LIMIT (X) – Opět jsou pouze u obvodů v pouzdech typu Y. Tento vývod je vstupním vývodem pro externí vypínání a zapínání, pro externí nastavení proudového omezení a synchronizace. Když spojíme tento vývod s vývodem SOURCE všechny tyto funkce se vyřadí z činnosti. [2]

MULTI-FUNCTION (M) – Tento vývod se nachází jen u pouzder typu G nebo P. Spojuje funkce vývodů EXTERNAL CURRENT LIMIT (X) a LINE-SENSE (L) do jednoho vývodu v pouzdře Y. Je vstupem pro přepětí, podpětí, pro omezení maximální hodnoty třídy spínání, externí hodnoty proudového omezení a synchronizace. Spojením tohoto vývodu s vývodem SOURCE všechny tyto funkce se vyřadí z činnosti. [2]

FREQUENCY (F) – Jsou pouze u obvodů v pouzdech Y. Tento vývod je určen pro volbu spínaného kmitočtu. V případě spojení s vývodem SOURCE je kmitočet 132 kHz a v případě spojení s vývodem CONTROL je kmitočet 66 kHz. U pouzder typu G a P, který tento vývod postrádají je interně nastaven spínaný kmitočet na hodnotu 132 kHz. [2]



Obr. 2.25 Uspořádání vývodů v pouzdru typu Y = TO220-7C [2]

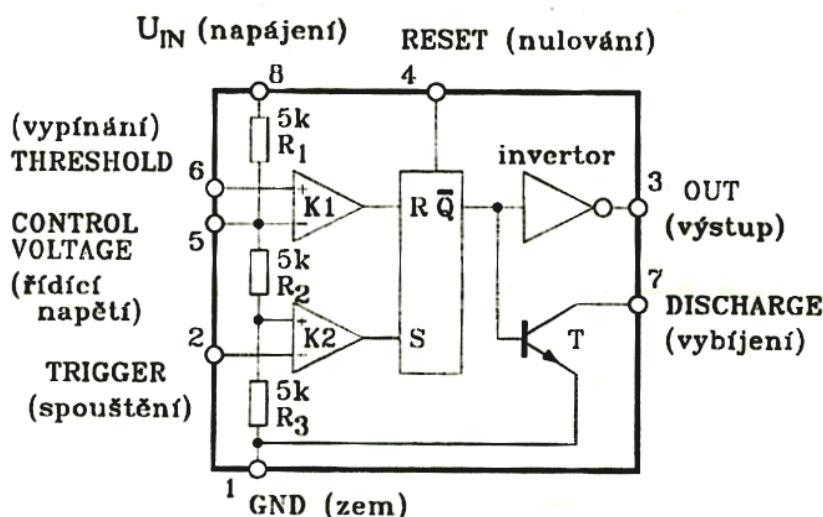


Obr. 2.26 Uspořádání vývodů v pouzdru typu G a P [2]

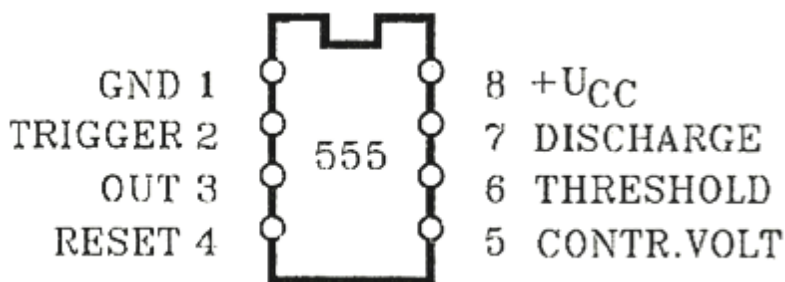
## 2.5 Spínané zdroje s časovačem 555

### 2.5.1 Obvod 555

Jedná se o integrovaný obvod, nejčastěji se používá jako časovač. Tento obvod svůj název dostal díky svému odporovému děliči, který se skládá ze tří odporů, všechny mají stejnou hodnotu 5 kΩ. Obvod dále obsahuje dva komparátory, oba výstupy jsou přivedeny na vstup klopného obvodu. Z výstupu klopného obvodu dále do invertoru a pomocného spínacího tranzistoru T. Všechny tyto součástky můžeme vidět v blokovém schématu na obr. 2.27. Integrovaný obvod 555 bývá v pouzdře DIP, který je zobrazen na obr. 2.28. I když byl navržen původně pro časovací účely, je tak všestranný, že se dá použít na velké množství jiných aplikací, jsou to například měniče kmitočtů, generátory zvuků, atd. [3]



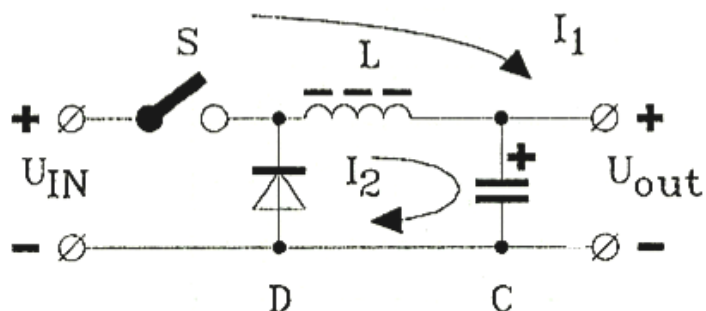
Obr. 2.27 Vnitřní blokové zapojení obvodu 555 [3]



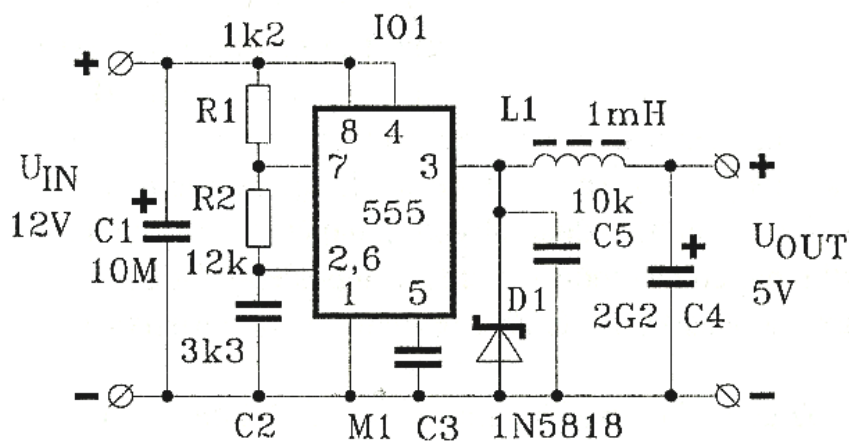
Obr. 2.28 Pouzdro DIP a zapojení vývodů obvodu 555 [3]

## 2.5.2 Zdroje snižující napětí

Konstrukce tohoto zdroje s obvodem 555 je komplikovaná, protože snímač S není spojen svým vývodem se zemí. Musí se pro tuto činnost využít výstup OUT místo interního tranzistoru T. Výstup OUT se chová jinak, než snímač S uveden na obr. 2.29. Výstup je ve stavu sepnutém zapojen, jako by snímač S byl sepnut, ve stavu rozepnutém je snímač S rozepnut, ale další snímač, který na obrázku není zakreslen je paralelně připojen paralelně k diodě D je sepnut. Na toto si musíme dávat pozor při navrhování vnějších obvodů k obvodu 555. [3]



Obr. 2.29 Principiální schéma zapojení snižujícího zdroje [3]



Obr. 2.30 Základní zapojení zdroje snižujícího napětí [3]

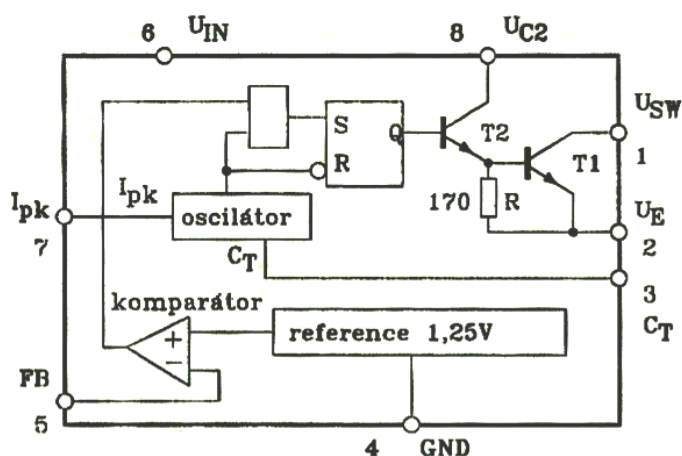
## 2.5.3 Provozní omezení

Ve zdroji s obvodem 555 jde používat obvody, reagující na provozní stavy zdroje. Jedná se o obvody nadproudové ochrany, kdy dojde, buď k úplnému vypnutí zdroje to jsou proudové pojistky, nebo k omezení proudu. Kromě těchto ochrany se užívají ještě obvody UVLO což znamená Under Voltage Lock Out = vypínací obvod při podpětí. Obvody UVLO mohou reagovat na pokles výstupního napětí zdroje  $U_{OUT}$ , tak i na pokles vstupního napětí  $U_{IN}$ . [3]

Minimální velikosti vstupního napětí tyto obvody obvykle chrání napájecí zdroj před jejím poškozením nadměrným vybitím, v případě hlídání výstupního napětí se jedná obvykle o zobrazení neidentifikovatelné činnosti logických obvodů. [3]

#### 2.5.4 Obvod MC34063

I když obvod 555 lze použít v mnoha zapojeních pro aplikaci spínaných zdrojů nejsou jeho vlastnosti optimální. Proto firma Motorola vyvinula upravený obvod 555 pro spínané zdroje. Když se podíváme na vnitřní blokové schéma zapojení tohoto obvodu, které je znázorněno na obr. 2.31 zjistíme, že obsahuje podobné bloky, které jsou v obvodu 555. [3]



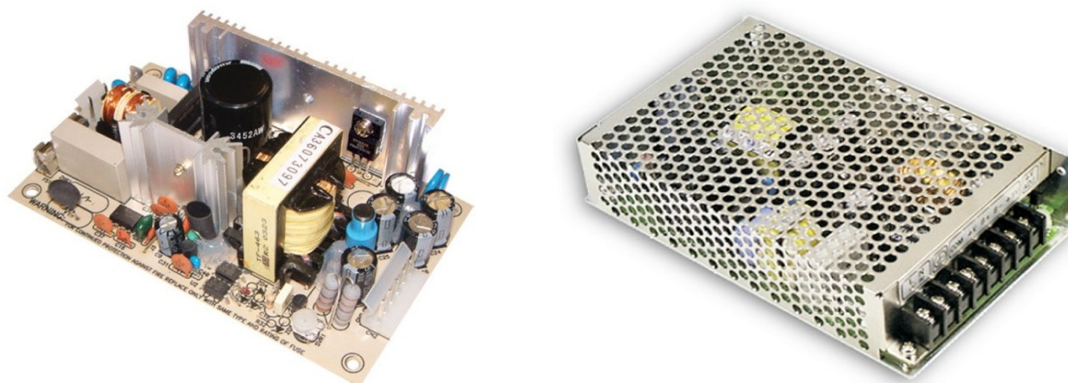
Obr. 2.31 Vnitřní blokové schéma zapojení obvodu 34063 [3]

Obvod 34063 má v sobě zabudovaný oscilátor, jeho kmitočet se dá nastavit vnějším kondenzátorem  $C_T$  (časovací kondenzátor), který je připojen mezi vývodem 3 a zemí. Díky tomu se dá kmitočet oscilátoru nastavovat od nejnižšího kmitočtu do 100 kHz. Výstup tohoto oscilátoru je připojen na RESET klopného obvodu s negací a přes hradlo AND na vstup SET. To zajišťuje, že budou vstupy R a S vždy buzeny inverzně. Signál z oscilátoru prochází na vstup S přes hradlo jen tehdy, jestli na druhém vstupu hradla je logická jednička. Logická jednička se dostane na vstup hradla z výstupu komparátoru a objeví se tam jen tehdy, jestliže napětí na vstupu FB je menší, než napětí referenční, to se rovná 1,25 V. Na vstup FB je přivedeno vydělené výstupní napětí a tím se splní podmínka záporné zpětné vazby a díky tomu přestávají být tranzistory  $T_1$  a  $T_2$  buzeny, když překročí požadovanou hodnotu výstupního napětí. [3]

### 3 Detailní popis spínaných zdrojů

V této části bakalářské práce detailně popíšu dva spínané zdroje firmy Mean Well. Jedná se o zdroje PT – 65C a RT – 85C.

*Specifikace spínaných zdrojů jsou v Příloze I a II.*



*Obr. 3.1 Spínaný zdroj Mean Well PT – 65C a RT – 85C [8][9]*

Parametry		Mean Well PT – 65C		
Vstup	Rozsah napětí	90 ~ 264 [V] AC 127 ~ 370 [V] DC		
	Rozsah frekvence	47 ~ 440 [Hz]		
	Účinnost	77 [%]		
Výstup	Výstupní napětí	+ 5 [V]	+ 15 [V]	- 15 [V]
	Jmenovitý proud	5,5 [A]	2 [A]	0,5 [A]
	Rozsah proudu	0,4 ~ 7 [A]	0,2 ~ 2,6 [A]	0 ~ 0,7 [A]
	Jmenovitý výkon	65 [W]		

*Tab. 3.1 Důležité hodnoty spínaného zdroje Mean Well PT – 65C [8]*

Parametry		Mean Well RT - 85C		
Vstup	Rozsah napětí	88 ~ 264 [V] AC 125 ~ 373 [V] DC		
	Rozsah frekvence	47 ~ 63 [Hz]		
	Účinnost	77 [%]		
Výstup	Výstupní napětí	+ 5 [V]	+ 15 [V]	- 15 [V]
	Jmenovitý proud	7 [A]	3 [A]	0,5 [A]
	Rozsah proudu	2 ~ 10 [A]	0,3 ~ 4 [A]	0 ~ 1 [A]
	Jmenovitý výkon	87,5 [W]		

*Tab. 3.2 Důležité hodnoty spínaného zdroje Mean Well RT – 85C [9]*

### 3.1 Spínaný zdroj Mean Well RT – 85C

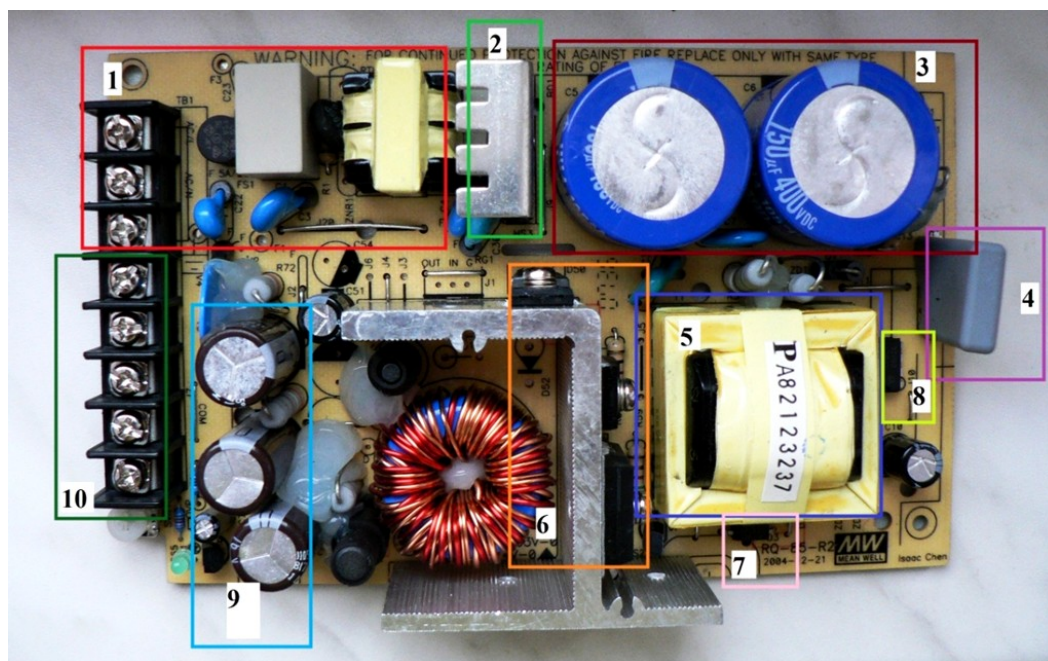
Jedná se o spínaný napájecí zdroj o výkonu 87 W se třemi výstupními napětími (+ 5 V, + 15 V, - 15 V). Tento zdroj můžeme vidět na obr. 3.2.

Tento zdroj je napájen síťovým napětím v rozsahu 100 – 240 V o frekvenci 50 – 60 Hz a chráněn pojistkou, která má hodnotu 5 A (1). Napětí po průchodu širokopásmovým filtračním členem (1) přechází na diodový můstek (Graetzův) (2), kde je napětí následně usměrněno na stejnosměrnou hodnotu a poté vyfiltrováno filtračním kondenzátorem (3).

Řídicí obvod s pulzně šířkovou modulací (8) vstupuje do spínacího tranzistoru (4), který spíná vysokofrekvenční transformátor (5). Dále z tohoto transformátoru jde napětí do usměrňovače (6), jsou to dvě diody zapojené proti sobě se společnou katodou umístěné v pouzdře TO220. V tomto zdroji se nachází tři tyto diody, každá má jiné výstupní napětí. Poté se toto napětí vyfiltruje na výstupním filtračním kondenzátoru (9). V obvodu jsou tři filtrační kondenzátory, každý filtruje jiné výstupní napětí kvůli tomu, že tento spínaný zdroj má tři výstupy na + 5 V, + 15 V a - 15 V.

Zpětnovazebné optočleny (7), slouží k optickému oddělení zpětné vazby. Signál dále pokračuje do řídicího obvodu (8), kde se vyhodnocuje a reguluje spínání spínacího tranzistoru (4).

#### 3.1.1 Popis hlavních částí spínaného zdroje RT – 85C



Obr. 3.2 Znáznorněné hlavní části spínaného zdroje RT – 85C



1. Vstupní obvod obsahující vstupní filtr a pojistku
2. Přemostřovací usměrňovač (KBJ 4408G)
3. Filtrační kondenzátory
4. Spínací MOSFET (NMOS) tranzistor (Toshiba K3878), spínající vysokofrekvenční transformátor (5)
5. Vysokofrekvenční transformátor
6. 3krát dvě diody zapojené proti sobě se společnou katodou v pouzdře TO220, pracují jako usměrňovač
7. 2krát optočlen slouží k optickému oddělení zpětné vazby (PC123), nachází se pod transformátorem (5) na snímku je špatně vidět
8. Řídicí obvod (1203P60) je PWM regulace, nachází se vedle transformátoru (5), na snímku je špatně vidět
9. Výstupní filtr, každý s těchto kondenzátorů je určen pro jednotlivý výstup + 5 V, - 15 V, + 15 V
10. Výstupní svorky na + 5 V, + 15 V, - 15 V

### 3.2 Spínaný zdroj Mean Well PT – 65C

Jedná se taktéž o spínaný napájecí zdroj o výkonu 65 W se třemi výstupními napětími (+ 5 V, - 15 V, + 15 V). Tento zdroj můžeme vidět na obr. 3.3.

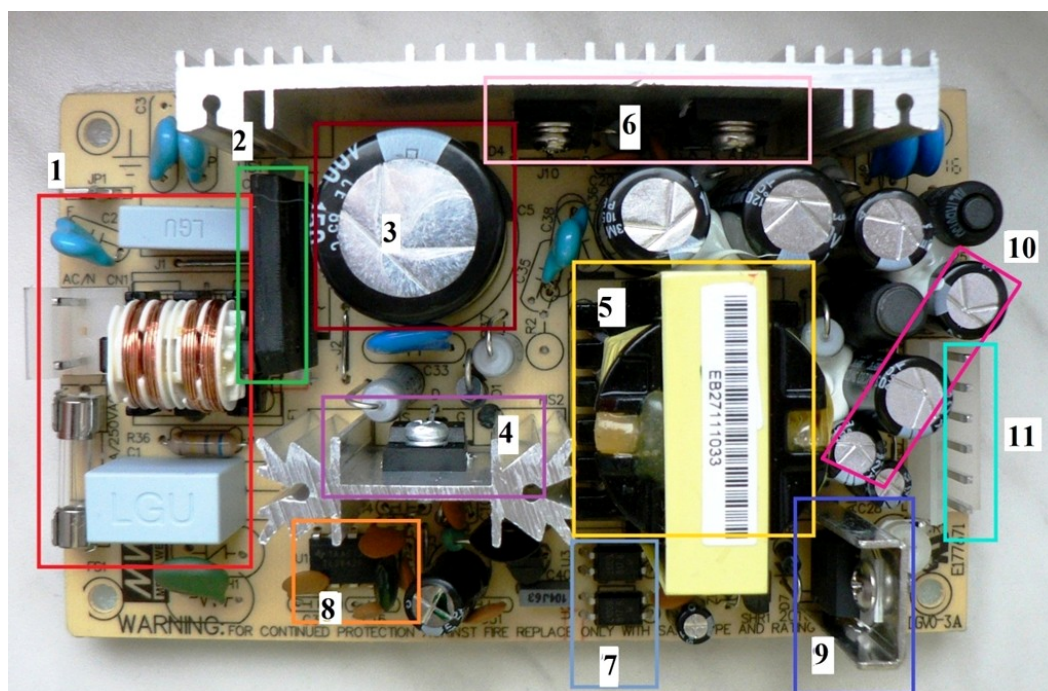
Zdroj je napájen síťovým napětím v rozsahu 100 – 240 V o frekvenci 50 – 60 Hz, a chráněn pojistkou, která má hodnotu 4 A (1). Napětí po průchodu vstupním filtrem (1) pokračuje na přemostřovací usměrňovač (2), kde je napětí usměrněno ze střídavého napětí na napětí stejnosměrné, poté je tato hodnota napětí vyfiltrována na filtračním kondenzátoru (3).

Řídicí obvod s pulzně šířkovou modulací (8) vstupuje do spínacího tranzistoru (4), který spíná vysokofrekvenční transformátor (5). Z tohoto transformátoru jde napětí do usměrňovače (6), jsou to dvě diody zapojené proti sobě se společnou katodou umístěné v pouzdru TO220. V tomto zapojení se nachází dvě tyto diody, z jedné katody vychází stejnosměrné napětí o hodnotě 5 V a z druhé diody 15 V. Napětí se poté vyfiltruje na výstupním filtračním kondenzátoru (10). V obvodě se nachází tři filtrační kondenzátory, každý filtruje jiné výstupní napětí kvůli tomu, že tento spínaný zdroj má tři výstupy na + 5 V, + 15 V, - 15 V.

Obvodu se nachází negativní napěťový regulátor (9), který má za úkol obrátit polaritu z + 15 V na - 15 V.

Zpětnovazebné optočleny (7), slouží k optickému oddělení zpětné vazby. Signál dále pokračuje do řídicího obvodu (8), kde se vyhodnocuje a reguluje spínání spínacího tranzistoru (4).

### 3.2.1 Popis hlavních částí spínaného zdroje PT – 65C



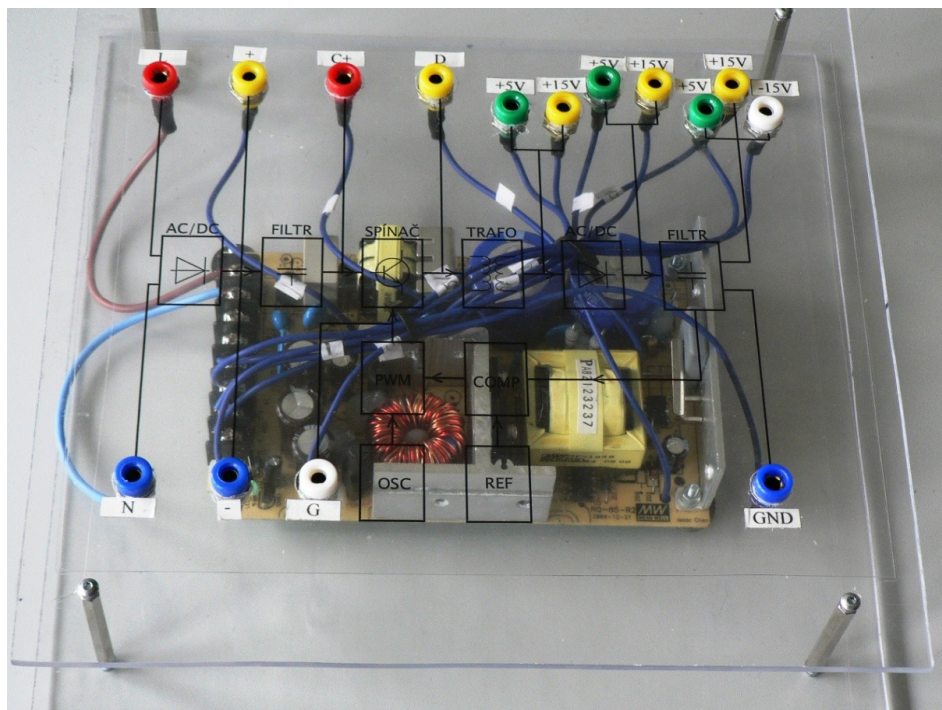
Obr. 3.3 Znáznorněné hlavní části spínaného zdroje PT – 65C

1. Vstupní obvod obsahuje vstupní filtr a pojistku
2. Přemost'ovací usměrňovač (KBJ 408G)
3. Filtrační kondenzátor
4. Spínací MOSFET (NMOS) tranzistor (TK6A60D), spínající vysokofrekvenční transformátor (5)
5. Vysokofrekvenční transformátor
6. 2krát dvě diody zapojené proti sobě se společnou katodou v pouzdře TO220, pracují jako usměrňovač
7. 2krát optočlen slouží k optickému oddělení zpětné vazby (L1209), nachází se vedle transformátorem (5)
8. Řídící obvod (TL3842P) je PWM regulace
9. Obvod (L7915CV) je negativní napěťový regulátor na - 15 V
10. Výstupní filtr, každý s těchto kondenzátorů je určen pro jednotlivý výstup + 5 V, - 15 V, + 15 V
11. Výstupní svorky na + 5 V, + 15 V, - 15 V

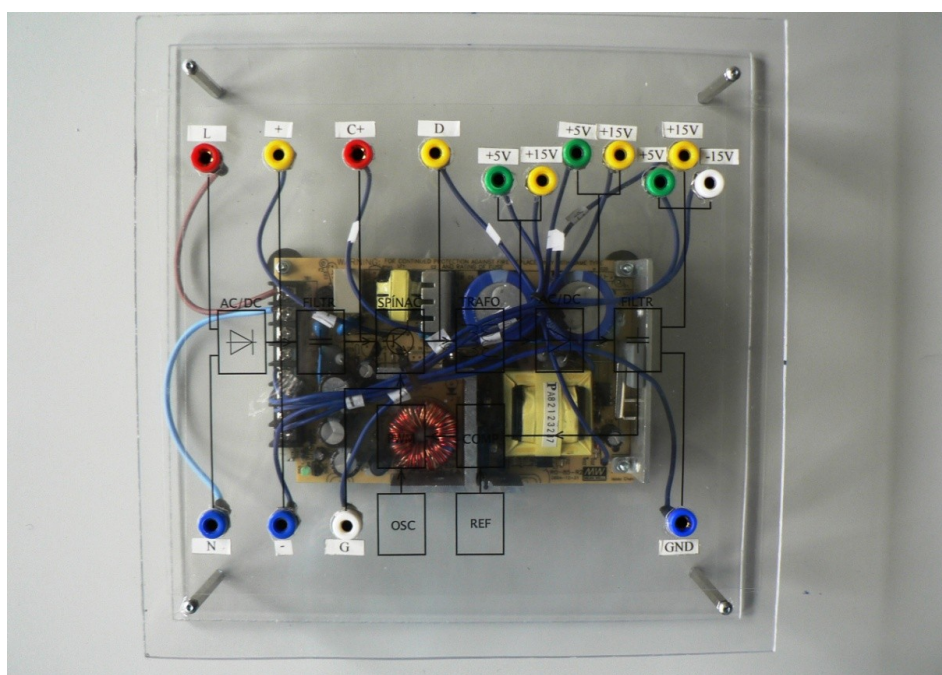


### 3.3 Měřicí přípravek se spínaným zdrojem

#### 3.3.1 Mean Well RT – 85C

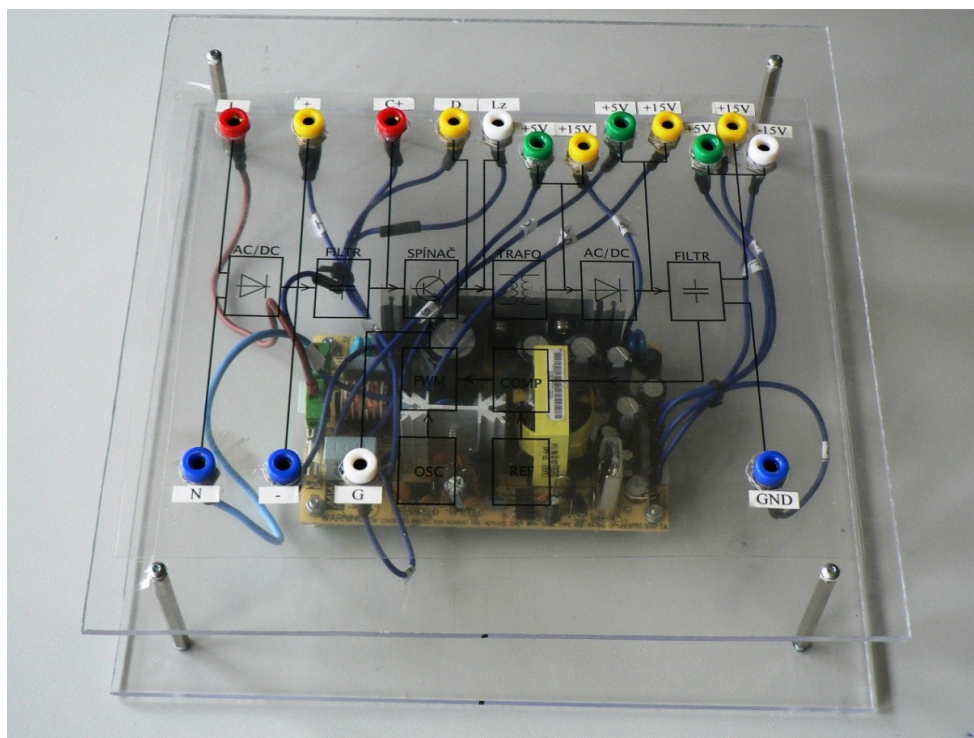


Obr. 3.4 Měřicí přípravek se spínaným zdrojem Mean Well RT – 85C (pohled 1)

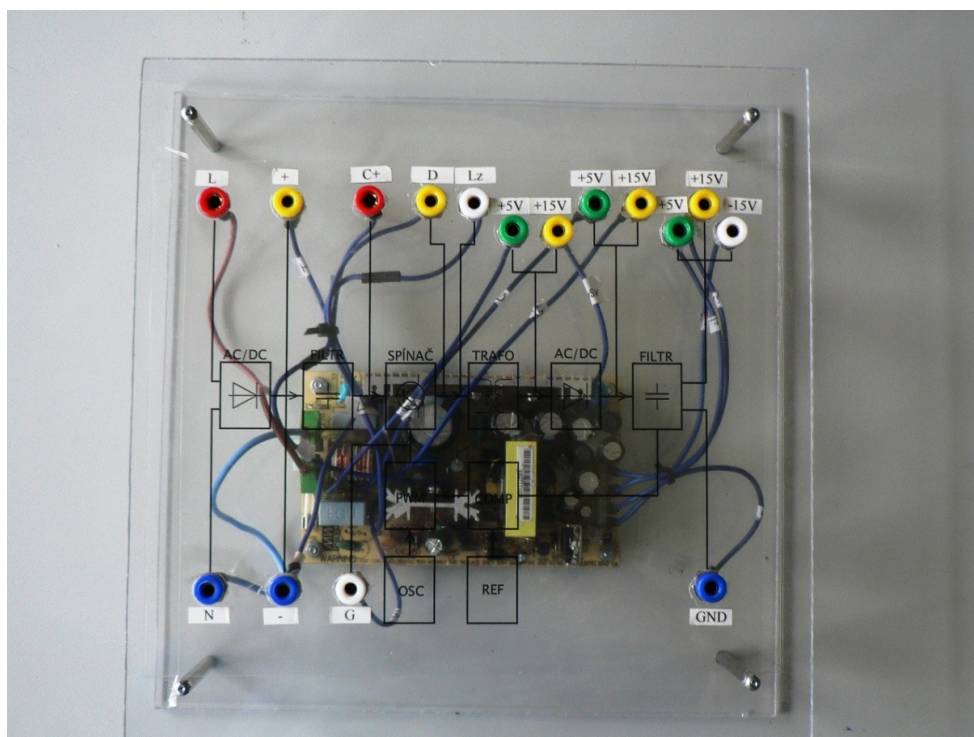


Obr. 3.5 Měřicí přípravek se spínaným zdrojem Mean Well RT – 85C (pohled 2)

### 3.3.2 Mean Well PT – 65C



Obr. 3.6 Měřicí přípravek se spínaným zdrojem Mean Well PT – 65C (pohled 1)



Obr. 3.7 Měřicí přípravek se spínaným zdrojem Mean Well PT – 65C (pohled 2)

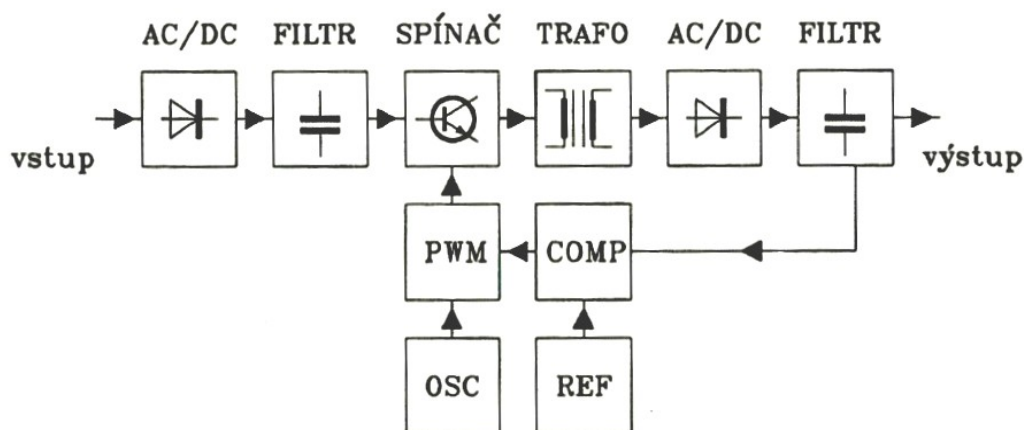


## 4 Laboratorní úloha se spínanými zdroji Mean Well PT – 65C a RT – 85C

### 4.1 Zadání

1. Změřte jednotlivé bloky spínaného zdroje a průběhy zobrazte na osciloskopu.
2. Změřte zatěžovací charakteristiky spínaných zdrojů, hodnoty zapište do tabulky a vynesete do grafu.
3. Zjistěte, jak se bude zdroj chovat, když zatížíte jeden výstup a zbylé dva budou pracovat naprázdno, hodnoty zapište do tabulky a vynesete do grafu.
4. Změřte, při jakém napájecím napětím začne zdroj pracovat.

### 4.2 Teoretický rozbor



Obr. 4.1 Blokové schéma spínaného zdroje [1]

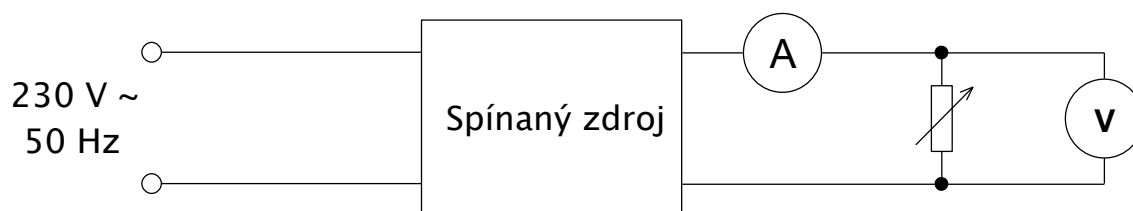
Do spínaných zdrojů je přivedeno síťové napětí o kmitočtu 50 Hz. To se usměrní na diodách a pokračuje na vstupní filtrační kondenzátor. [4]

Usměrněním vstupního napětí vzniká potřeba převést toto napětí na nižší hodnotu. Proto je nutné přeměnit toto napětí na střídavou složku. To provádí spínače. Jedná se o vysokofrekvenční tranzistory, které jsou schopny při kmitočtech od 20 kHz do 1 MHz vytvářet střídavý obdélkový průběh. Poté se převede napětí na nižší hodnotu na transformátoru nebo na indukčnosti. Na transformátory jsou kladeny poměrně velké požadavky, jelikož celková účinnost celého zdroje závisí hlavně na nich. Používají se transformátory s feritovým jádrem, protože klasická jádra z trafoplechů jsou pro tak vysoké kmitočty nevhodné. Následně se převedené výstupní napětí opět usměrňuje a filtruje. Zde jsou kladeny velké nároky na diody. Musí být stavěny na vysoké frekvence a ne jen na klasický síťový kmitočet 50 Hz. Diody musí mít malou spínací a vypínací dobu, a také malou kapacitu PN přechodu. Na výstupní filtr nejsou

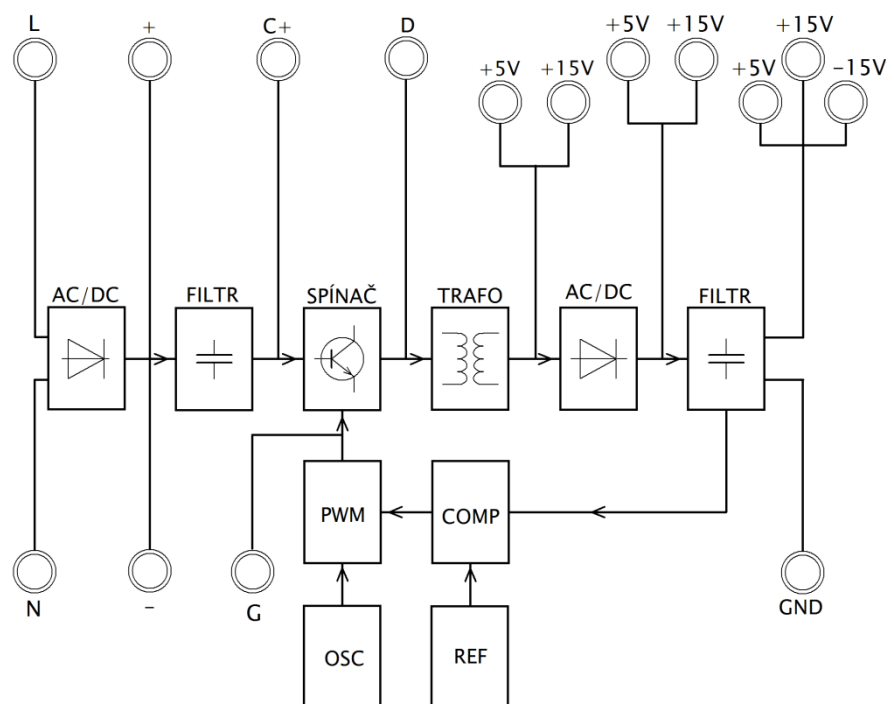
již kladeny tak vysoké nároky. Čím je frekvence vyšší na výstupu z usměrňovače, tím je potřebná kapacita kondenzátoru menší. Vzhledem k tomu, že se navíc jedná o usměrňování obdélníkového průběhu, tak zvlnění za diodami je již velmi malé. Proto je poměrně malá kapacita schopná bez problémů zbylé zvlnění vyfiltrovat. [4]

Z výstupního filtračního kondenzátoru jde výstupní napětí přes zpětnou vazbu do komparátoru. Jedná se o obvod, který porovnává výstupní napětí s napětím referenčním. To je vyrobeno ve vedlejším obvodu. Jejich rozdíl směřuje poté do pulzně šířkového modulátoru, kde navíc vstupuje signál z oscilátoru. Z modulátoru jde signál na vysokofrekvenční tranzistory, kde se usměrněné síťové napětí mění na vysokofrekvenční napětí. [4]

### 4.3 Schéma zapojení



Obr. 4.2 Schéma zapojení spínaného zdroje



Obr. 4.3 Blokové schéma spínaného zdroje s vyvedenými piny

## 4.4 Postup měření

Obvod sestavíme dle schématu, který je zobrazen na obr. 4.2 a pomocí osciloskopu změříme všechny části spínaného zdroje.

Zdroje na výstupu zatížíme proměnný odporem, kterým nastavujeme proud. Spínaný zdroj RT – 85C zatížíme následovně:

- výstup + 5 V v rozmezí 0,5 – 10 A
- výstup + 15 V v rozmezí 0,5 – 4,5 A
- výstup - 15 V v rozmezí 0 – 1 A

Spínaný zdroj PT – 65C zatížíme následovně:

- výstup + 5 V v rozmezí 0,2 – 7 A
- výstup + 15 V v rozmezí 0,4 – 2,6 A
- výstup - 15 V v rozmezí 0 – 0,7 A

A pomocí ampérmetru a voltmetru změříme výstupní hodnoty, které poté zapíšeme do tabulky a sestavíme zatěžovací charakteristiky. **Pozor aby nedošlo překročení stanovených proudových rozsahů, mohlo by dojít k poškození zdrojů.**

Na vstup spínaných zdrojů zapojíme regulovaný transformátor, kterým budeme zjišťovat, při jaké nejnížší hodnotě vstupního napětí začne zdroj pracovat. Abychom přesně zjistily nejnížší hodnotu napětí, připojíme na vstup voltmetr a na Gate tranzistoru připojíme osciloskop, kterým zachytíme, kdy přesně zdroj začne pracovat.

#### 4.5 Tabulky naměřených hodnot

Mean Well RT - 85C						Mean Well PT - 65C					
+ 5V		+ 15V		- 15V		+ 5V		+ 15V		- 15V	
$U_2$	$I_2$	$U_2$	$I_2$	$U_2$	$I_2$	$U_2$	$I_2$	$U_2$	$I_2$	$U_2$	$I_2$
[V]	[A]	[V]	[A]	[V]	[A]	[V]	[A]	[V]	[A]	[V]	[A]
4,83	0,5	13,9	0,5	- 8,1	0,4	4,7	0,4	14,7	0,2	- 15	0
4,83	1	14,2	1	- 8,1	0,5	4,7	0,6	14,6	0,4	- 15	0,1
4,72	1,5	14,1	1,2	- 8,1	0,55	4,7	0,8	14,6	0,6	- 15	0,2
4,72	2	14,1	1,4	- 8	0,6	4,7	1	14,6	0,8	- 15	0,3
4,78	2,5	14,2	1,6	- 7,7	0,65	4,65	1,2	14,6	1	- 14,4	0,4
4,53	3	13,9	1,8	- 7,4	0,7	4,5	1,4	14,5	1,2	- 14,35	0,5
4,57	3,5	14,3	2	- 7,3	0,75	4,5	1,6	14,3	1,4	- 14,2	0,6
4,65	4	14,4	2,2	- 7,3	0,8	4,4	1,8	14,3	1,6	- 14,1	0,7
4,55	4,5	14,5	2,4	- 7,3	0,85	4,4	2	14,1	1,8	- 14	0,8
4,53	5	14,5	2,6	- 7,2	0,9	4,3	2,5	14	2	- 13,9	0,9
4,53	5,5	14,6	2,8	- 7,2	0,95	4,2	3	13,8	2,2	- 13,8	1
4,52	6	14,5	3	- 7,2	1	4,2	3,5	13,6	2,4		
4,52	6,5	14,5	3,2	- 7,1	1,1	4,2	4	13,5	2,6		
4,52	7	14,6	3,4	- 7,1	1,2	4,1	4,5	13,3	2,8		
4,43	7,5	14,5	3,6	- 7	1,3	4	5	13,1	3		
4,39	8	14,6	3,8	- 6,9	1,4	4	5,5	12,6	3,5		
4,38	8,5	14,6	4			4	6	12,1	4		
4,36	9	14,5	4,2			3,95	6,5				
4,35	9,5	14,5	4,4			3,9	7				
4,32	10	14,6	4,6			3,8	7,5				
4,3	11	14,5	4,7			3,7	8				
4,28	12	14,5	4,8								
4,25	13	14,5	4,9								
4,23	14	14,5	5								
4,2	15	14,4	6								
4,19	16	14,3	7								
4,19	17	10,5	7,5								

Tab. 4.1 Naměřené hodnoty spínaných zdrojů Mean Well PT – 65C a RT – 85C

	+ 5 V	+ 15 V	- 15 V
$I_2$	$U_2$	$U_2$	$U_2$
[A]	[V]	[V]	[V]
1,48	5,15	15,5	- 14,93
1,67	4,98	15,67	- 14,93
1,82	4,96	15,89	- 14,94
2,03	4,92	16,19	- 14,95
2,37	4,86	16,17	- 14,95
2,77	4,73	17,43	- 14,96
3,02	4,65	18,01	- 14,96
3,24	4,49	19,06	- 14,98
3,75	4,44	19,32	- 14,99
4,28	4,41	19,57	- 15

Tab. 4.2 Naměřené hodnoty při zatíženém výstupu + 5 V spínaného zdroje Mean Well PT – 65C zbylé dva pracují naprázdno

	+ 5 V	+ 15 V	- 15 V
$I_2$	$U_2$	$U_2$	$U_2$
[A]	[V]	[V]	[V]
1,2	5,13	14,56	- 14,95
1,4	5,15	14,45	- 14,95
1,64	5,17	14,28	- 14,95
1,85	5,19	14,12	- 14,96
2,03	5,2	13,96	- 14,96
2,27	5,22	13,78	- 14,96
2,68	5,26	13,46	- 14,97
2,79	5,27	13,38	- 14,96

Tab. 4.3 Naměřené hodnoty při zatíženém výstupu + 15 V spínaného zdroje Mean Well PT – 65C zbylé dva pracují naprázdno

	+ 5 V	+ 15 V	- 15 V
$I_2$	$U_2$	$U_2$	$U_2$
[A]	[V]	[V]	[V]
0,112	5,09	14,98	- 14,93
0,24	5,12	14,79	- 14,08
0,302	5,13	14,76	- 13,84
0,485	5,14	14,67	- 13,53

Tab. 4.4 Naměřené hodnoty při zatíženém výstupu - 15 V spínaného zdroje Mean Well PT – 65C zbylé dva pracují naprázdno

	+ 5 V	+ 15 V	+ 15 V
$I_2$	$U_2$	$U_2$	$U_2$
[A]	[V]	[V]	[V]
0,55	5,47	15,92	- 16
0,8	5,47	16,16	- 16,26
1	5,46	16,34	- 16,5
1,28	5,45	16,55	- 16,65
1,87	5,42	16,86	- 16,98
2,47	5,46	17,1	- 17,25
3,27	5,36	17,26	- 17,4
4,12	5,33	17,47	- 17,71
5,63	5,26	17,82	- 18,12
6,3	5,23	18,01	- 18,36

Tab. 4.5 Naměřené hodnoty při zatíženém výstupu + 5 V spínaného zdroje Mean  
Well RT – 85C zbylé dva pracují naprázdno

	+ 5 V	+ 15 V	- 15 V
$I_2$	$U_2$	$U_2$	$U_2$
[A]	[V]	[V]	[V]
1,17	5,47	14,67	- 16,12
1,52	5,47	14,67	- 16,29
1,73	2,46	14,66	- 16,37
1,94	5,46	14,66	- 16,42
2,33	5,45	14,65	- 16,48
2,73	5,44	14,66	- 16,5

Tab. 4.6 Naměřené hodnoty při zatíženém výstupu + 15 V spínaného zdroje Mean  
Well RT – 85C zbylé dva pracují naprázdno

	+ 5 V	+ 15 V	- 15 V
$I_2$	$U_2$	$U_2$	$U_2$
[A]	[V]	[V]	[V]
0,11	5,5	13,63	- 10,65
0,26	5,5	13,56	- 9,29
0,325	5,5	13,45	- 8,86
0,420	5,5	13,3	- 8,32
0,59	5,51	13,22	- 7,86

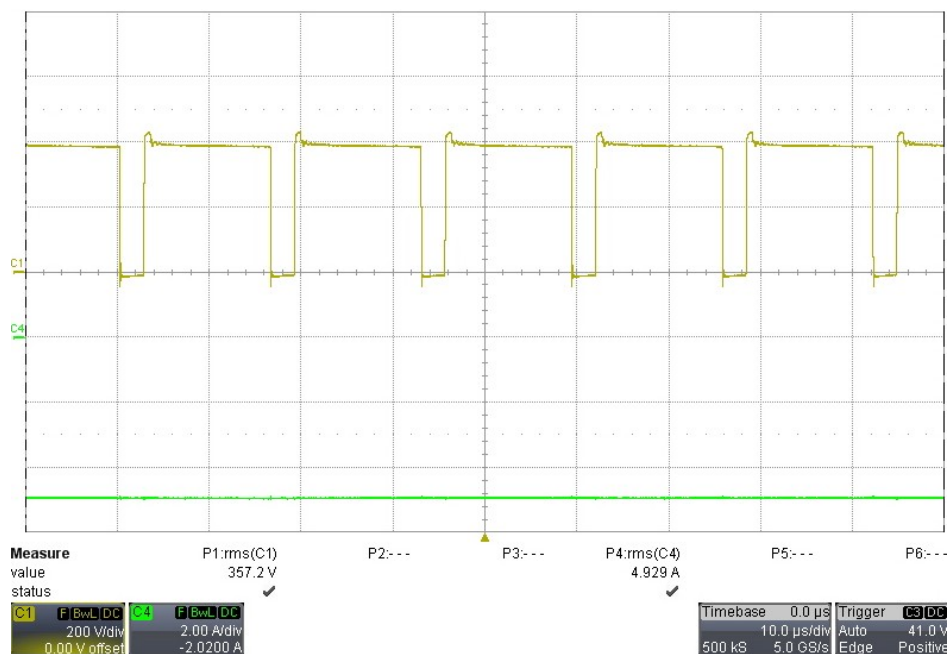
Tab. 4.7 Naměřené hodnoty při zatíženém výstupu - 15 V spínaného zdroje Mean  
Well RT – 85C zbylé dva pracují naprázdno



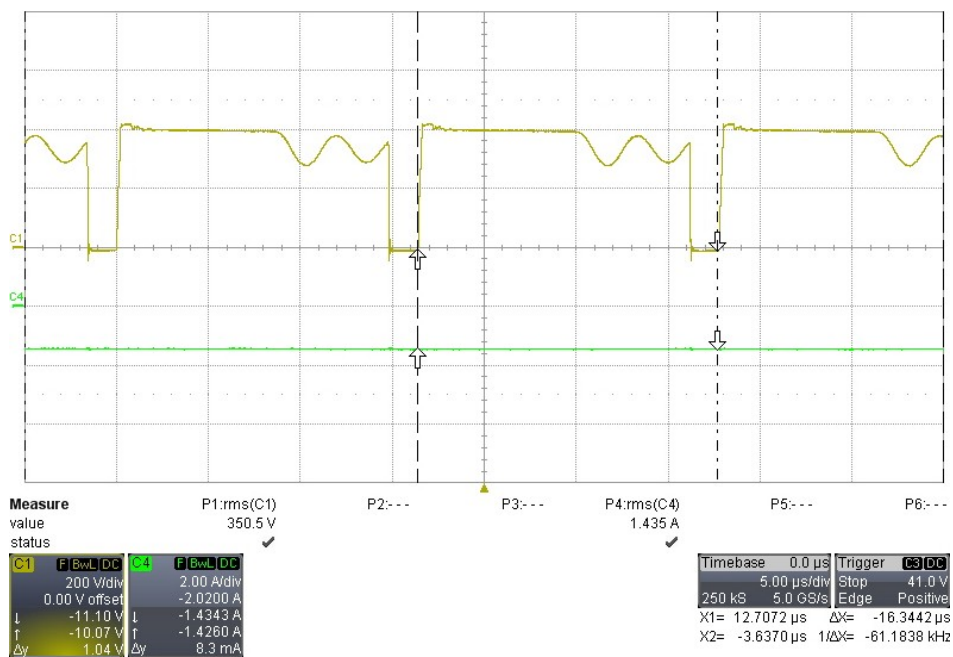
## 4.6 Změřené průběhy

### 4.6.1 Spínaný zdroj Mean Well PT – 65C

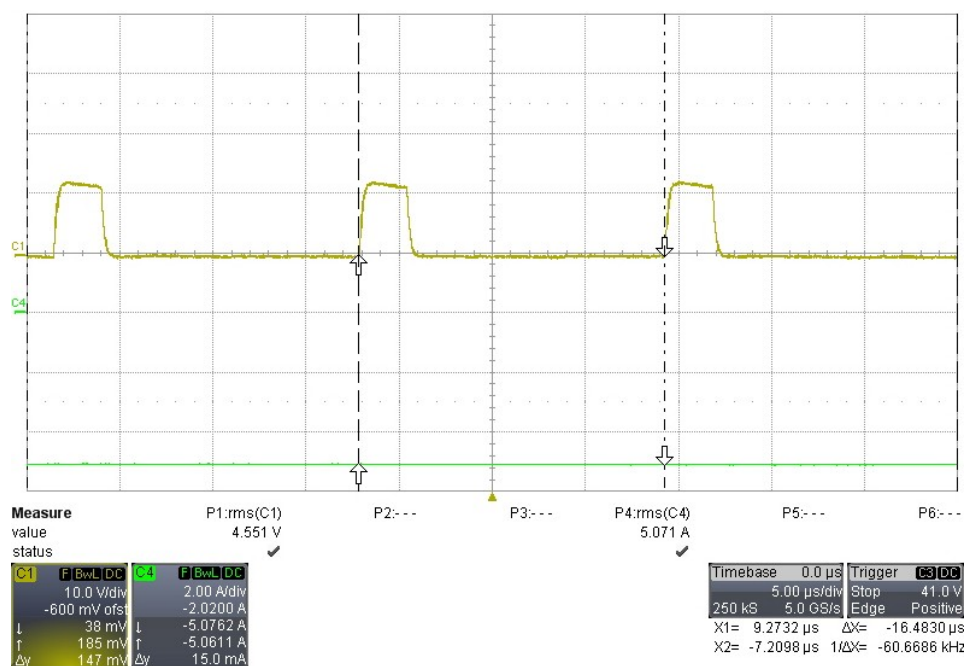
*Snímky z osciloskopu jsou v Příloze III.*



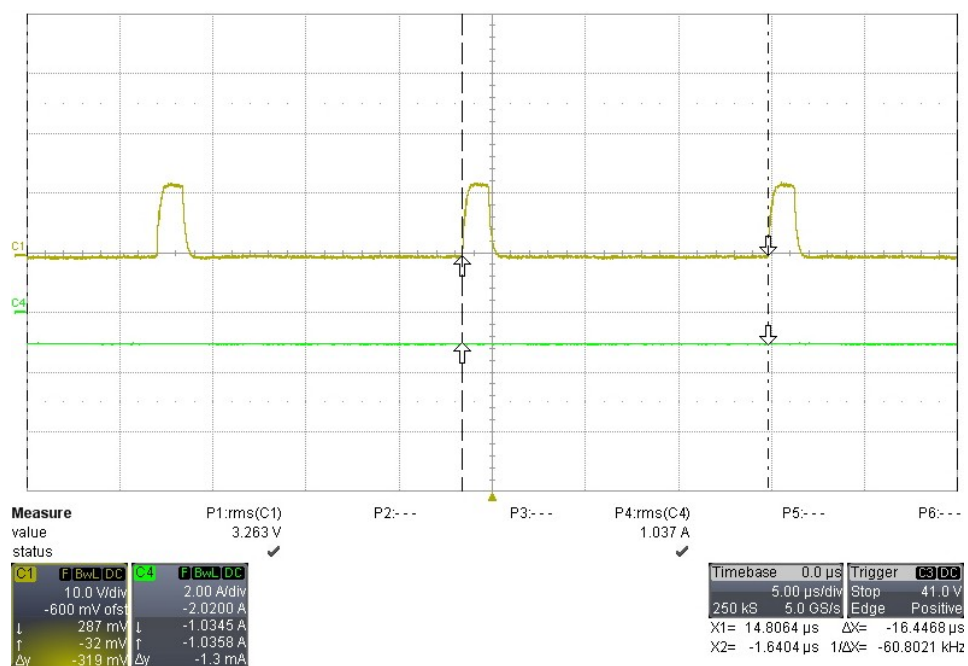
Obr. 4.4 Průběh napětí na spínaném tranzistoru mezi vývodem D a S při zatížení 4,9 A



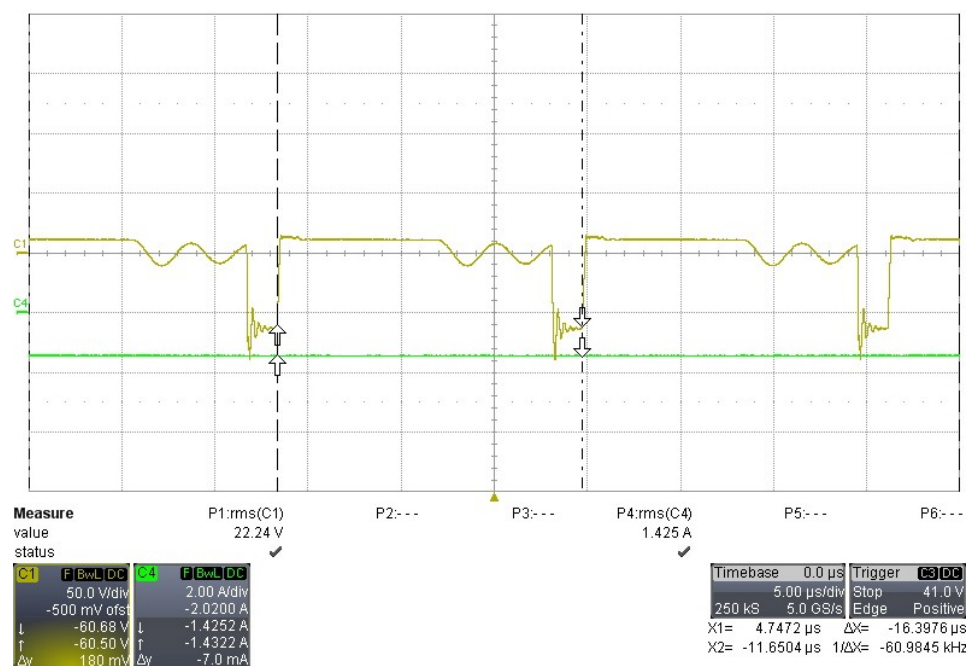
Obr. 4.5 Průběh napětí na spínaném tranzistoru mezi vývodem D a S při zatížení 1,4 A



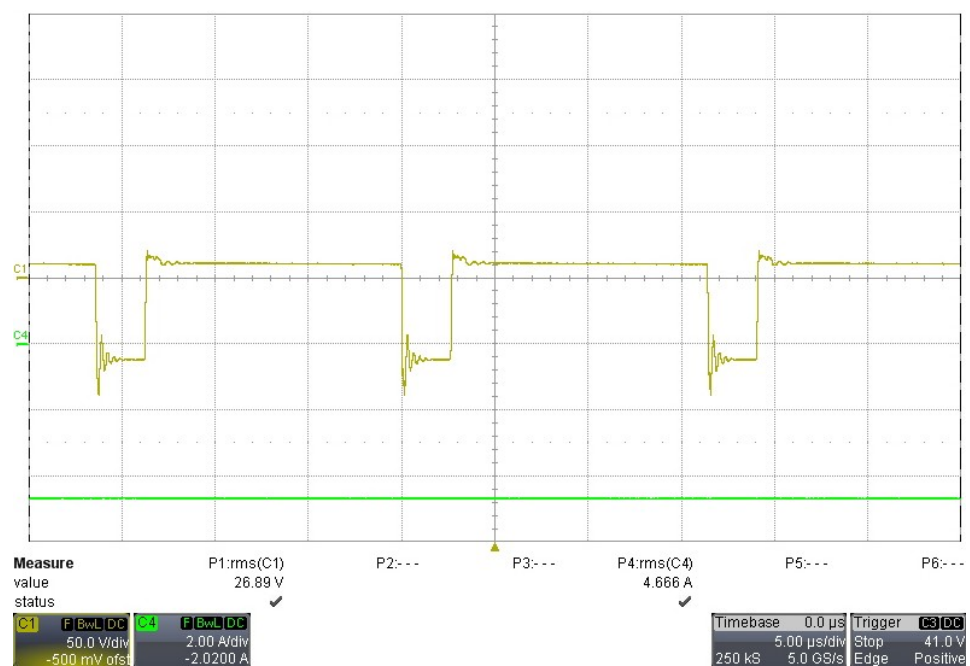
Obr. 4.6 Průběh napětí na spínaném tranzistoru mezi svorkami G a S při zatížení 5 A



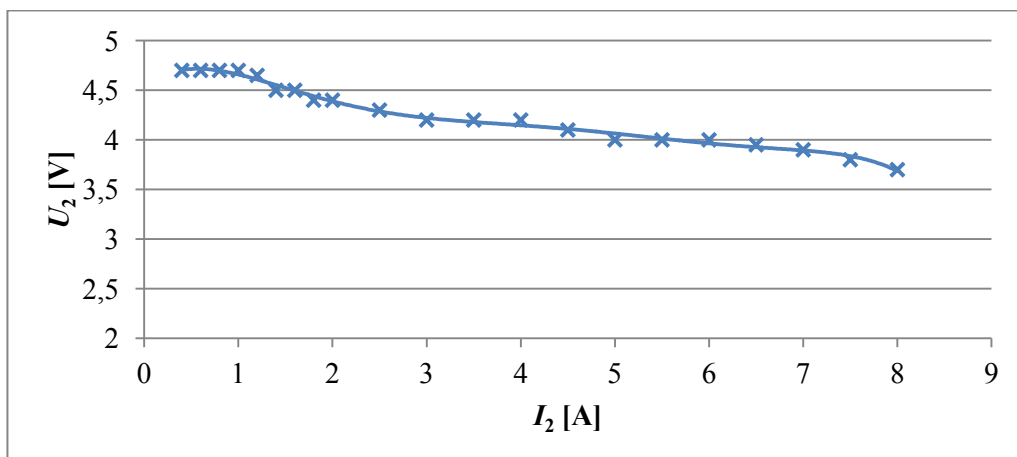
Obr. 4.7 Průběh napětí na spínaném tranzistoru mezi svorkami G a S při zatížení 1 A



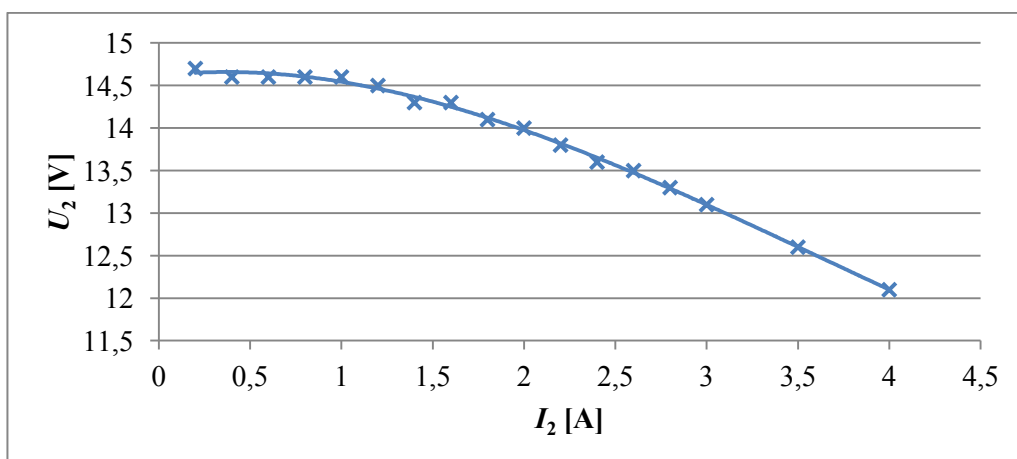
Obr. 4.8 Průběh napětí na rekuperačním vinutí při zatížení 1,4 A



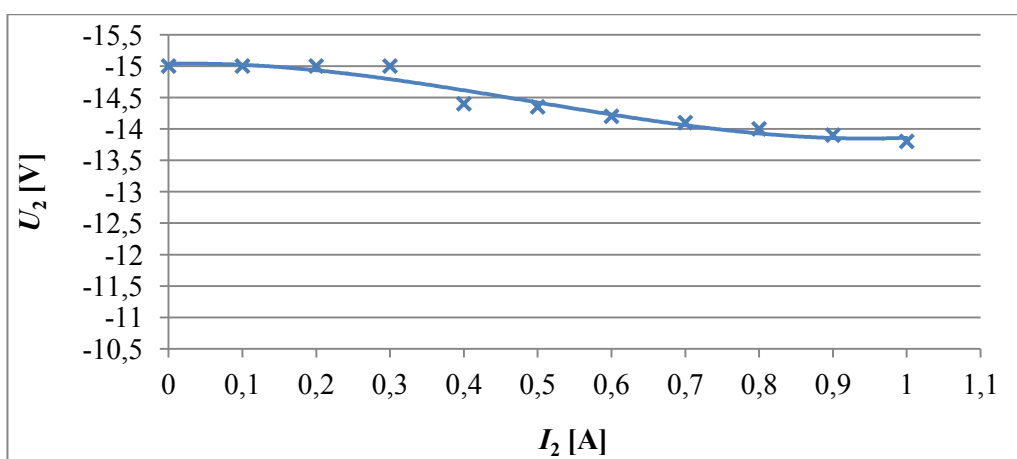
Obr. 4.9 Průběh napětí na rekuperačním vinutí při zatížení 4,6 A



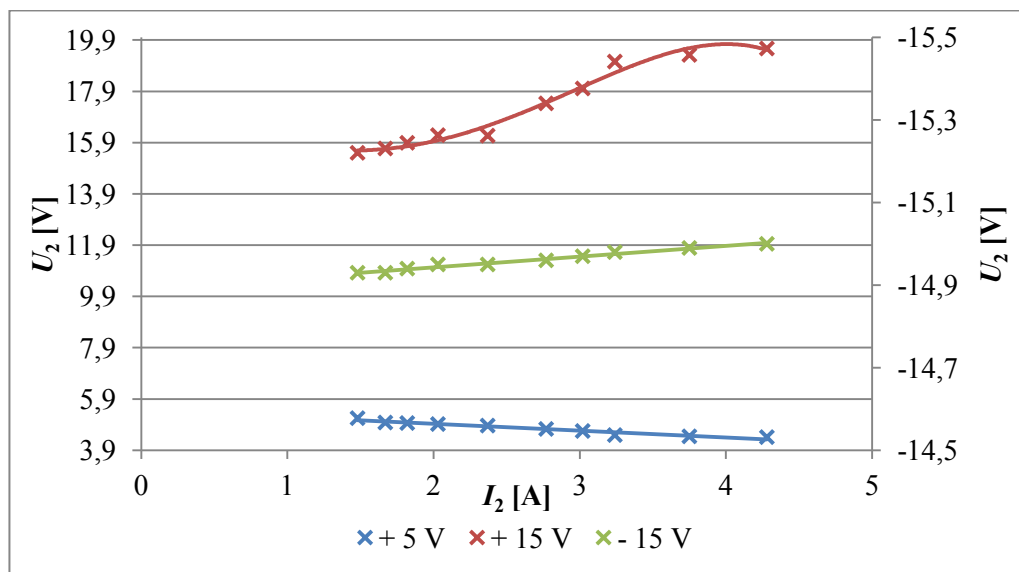
Obr. 4.10 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 65C pro výstup + 5 V



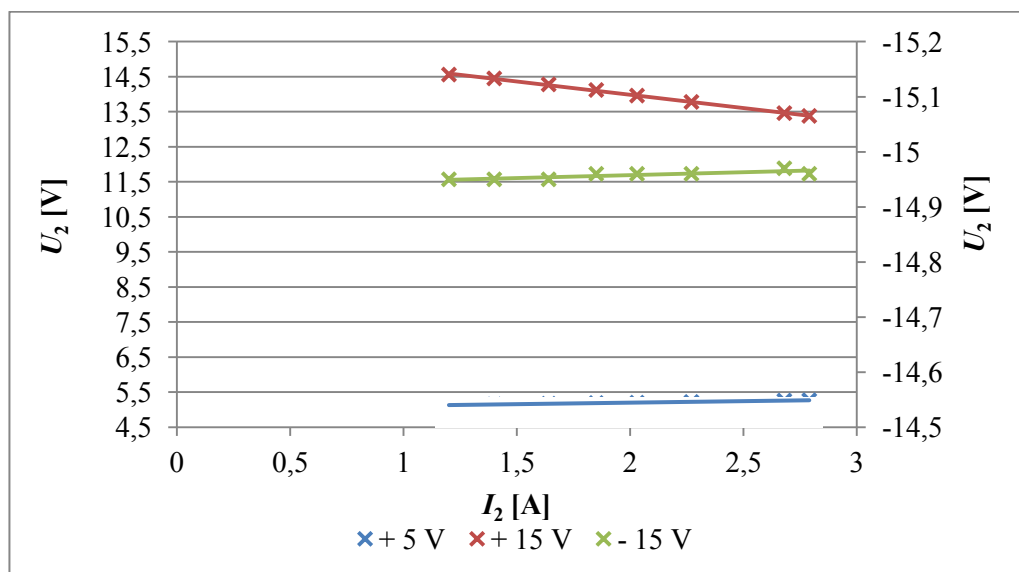
Obr. 4.11 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 65C pro výstup + 15 V



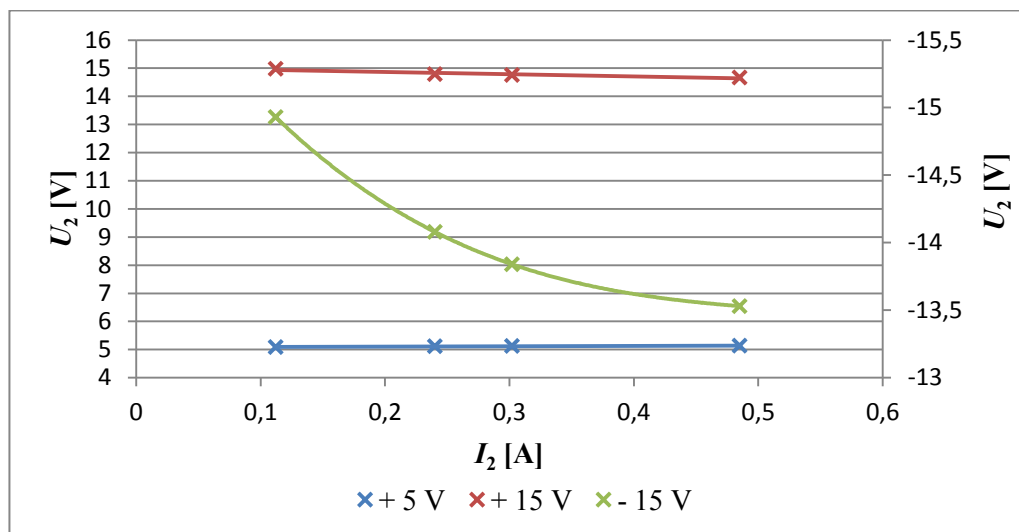
Obr. 4.12 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 65C pro výstup - 15 V



Obr. 4.13 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 65C, když je zatížen výstup + 5 V a zbylé dva pracují naprázdno



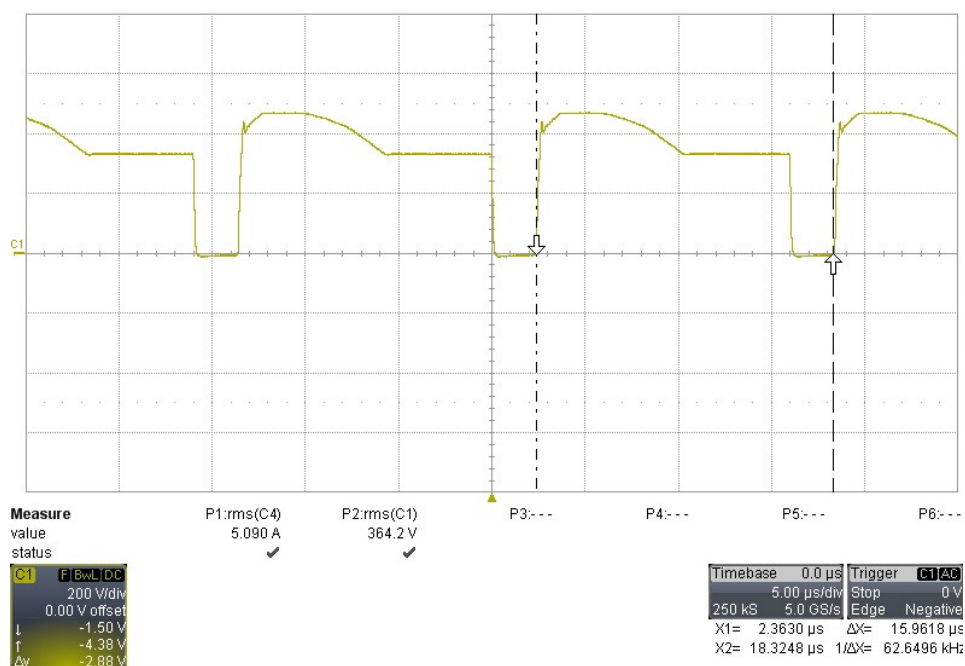
Obr. 4.14 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 65C, když je zatížen výstup + 15 V a zbylé dva pracují naprázdno



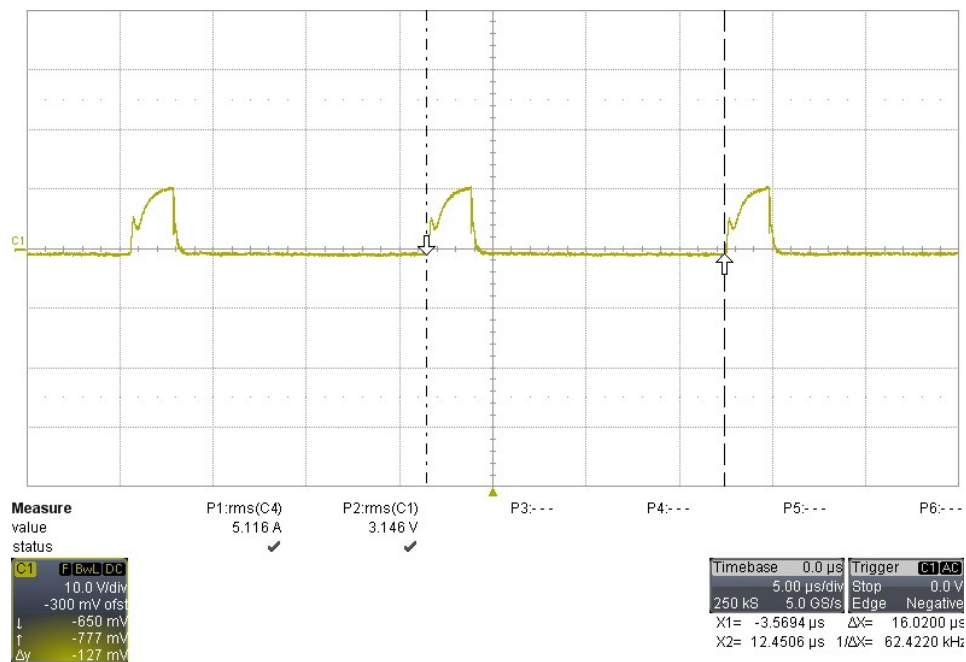
Obr. 4.15 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 65C, když je zatížen výstup - 15 V a zbylé dva pracují naprázdno

#### 4.6.2 Spínaný zdroj Mean Well RT – 85C

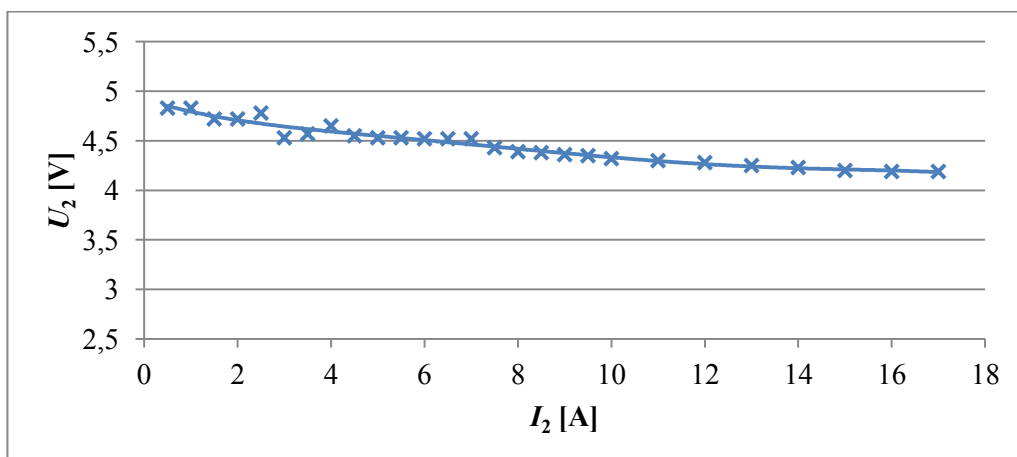
Snímky z osciloskopu jsou v Příloze IV.



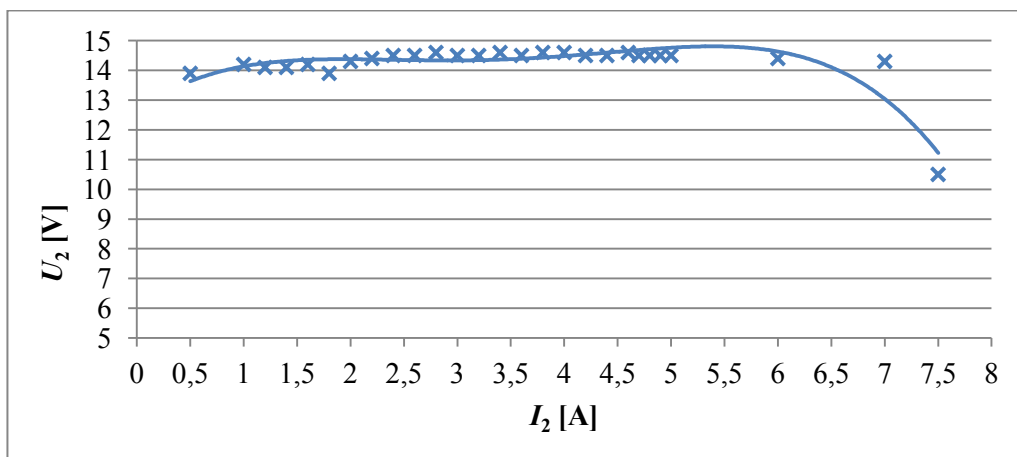
Obr. 4.16 Průběh napětí na spínaném tranzistoru mezi vývodem D a S



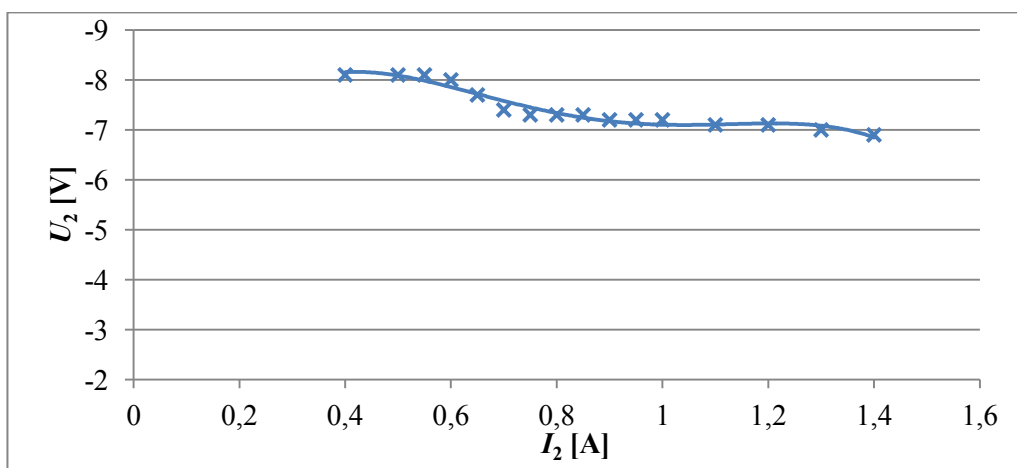
Obr. 4.17 Průběh napětí na spínaném tranzistoru mezi svorkami G a S



Obr. 4.18 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well RT – 85C pro výstup + 5 V

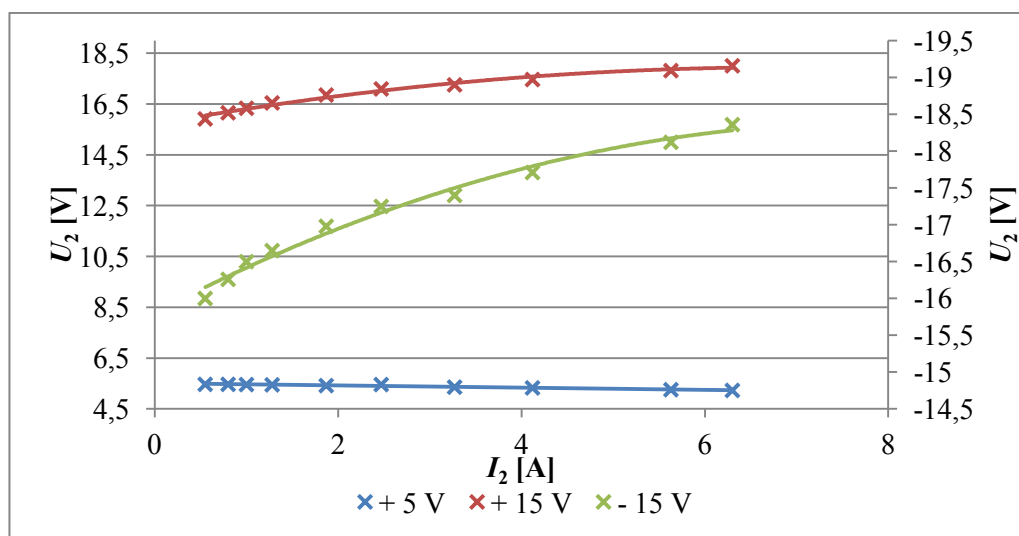


Obr. 4.19 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well RT – 85C pro výstup + 15 V

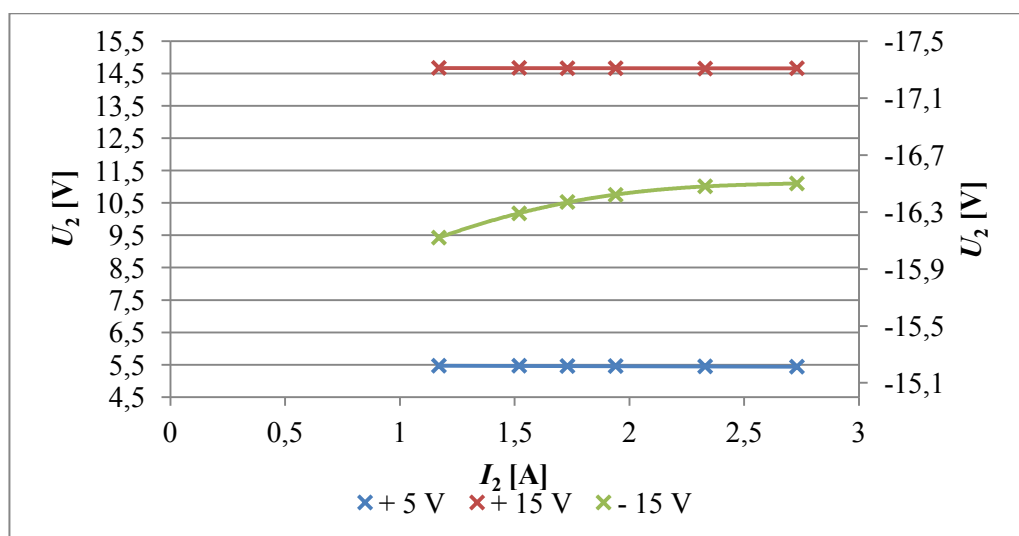


Obr. 4.20 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well RT – 85C pro výstup - 15 V

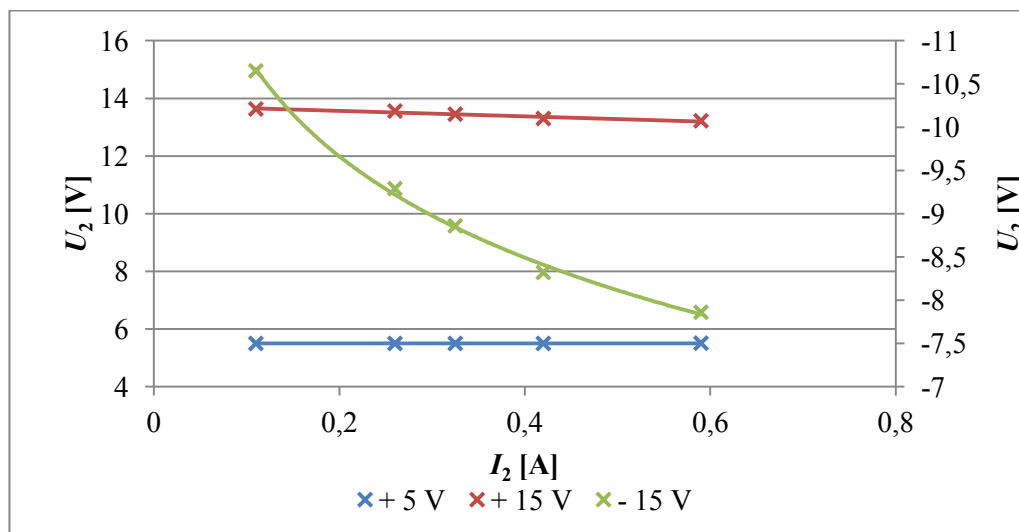




Obr. 4.21 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well PT – 85C, když je zatížen výstup + 5 V a zbylé dva pracují naprázdno



Obr. 4.22 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well RT – 85C, když je zatížen výstup + 15 V a zbylé dva pracují naprázdno



Obr. 4.23 Zatěžovací charakteristika spínaného zdroje Mean Well RT – 85C, když je zatížen výstup - 15 V a zbylé dva pracují naprázdno

#### 4.7 Použité přístroje

Proměnný rezistor	0,315 A, 1900 $\Omega$
Proměnný rezistor	6,3 A, 13 $\Omega$
Proměnný rezistor	16 A, 1 $\Omega$
Ampérmetr (analogový)	č. 30000028
Voltmetr (digitální)	Agilent 34405A
Osciloskop	MSO 44MXs – B
Regulovaný transformátor	

## Závěr

Cílem bakalářské práce bylo vybrat vhodný spínaný zdroj a provést jeho detailní popis. A vytvořit měřicí přípravek se spínaným zdroje pro laboratorní úlohu. Pro detailní rozbor byly vybrány spínané zdroje firmy Mean Well, a to modely PT – 65C a RT – 85C. Oba tyto zdroje spínají frekvencí 60 kHz a mají účinnost 77 %. Samotné měřicí přípravky s těmito zdroji, můžeme vidět na snímcích (obr. 3.4 – 3.7).

První věc, která mě zajímala, byla, při jakém vstupním napětí začne zdroj pracovat. Na vstup spínaného zdroje se zapojil regulovaný transformátor a zatížil jsem výstup + 5 V (z důvodu, že tento výstup jako jediný měl zpětnou vazbu na tranzistor). Zdroj Mean Well PT – 65C začal bez problémů pracovat při vstupním napětí 46 V a byl zatížen 2 A na výstupu. Spínaný tranzistor měl při rozběhu střidu 50 %, která se při zvyšování vstupního napětí začala snižovat. Spínaný zdroj Mean Well RT – 85C se při rozběhu choval trochu chaoticky. Když jsem výstup zatížil 5 A, tak při vstupním napětí 20 V se z ničeho nic objevilo na výstupu 3 V a zátěž se sama snížila na 1,6 A. Střída na spínaném tranzistoru byla neurčitá, z důvodu toho, že se tranzistor sám sebe snažil nastartovat. Až při vstupním napětí 50 V začal spínaný zdroj normálně pracovat a na výstupu se objevilo + 5 V se zatížením 5 A. Střída tranzistoru byla 50 % a při zvyšování vstupního napětí se snižovala.

Další věc, které jsem se věnoval, byly zatěžovací charakteristiky, těchto zdrojů. Při zatěžování zdroje Mean Well PT – 65C jsem zjistil, že když zvyšuji zatížení, pozvolna klesá napětí na výstupu + 5 V. Když zdroj překročí svou jmenovitou hodnotu proudu ( $I_n = 5,5 \text{ A}$ ) začne napětí lineárně klesat (obr. 4.10). Při zatěžování výstupu + 15 V napětí klesá velmi nepatrně, ale když zdroj překročí svou jmenovitou hodnotu proudu ( $I_n = 2 \text{ A}$ ) napětí začne lineárně klesat (obr. 4.11). A při zatížení výstupu - 15 V téměř napětí neklesalo, ale jak zdroj překročil svou jmenovitou hodnotu proudu ( $I_n = 0,5 \text{ A}$ ) napětí začalo okamžitě lineárně klesat (obr. 4.12). Při zatěžování zdroje Mean Well RT – 85C jsem zjistil, že zdroj na začátku je kmitavého charakteru. Kmitání se uklidnilo, až se zdroj na výstupu zatížil 2 A. Tyto kmity jsou patrné i v zatěžovacích charakteristikách, a to hlavně při zatěžování výstupů + 5 V a + 15 V. Při zatížení výstupu + 5 V je patrné, že když zdroj překročí svou jmenovitou hodnotu proudu ( $I_n = 7 \text{ A}$ ) okamžitě napětí začne klesat (obr. 4.18). Když jsem zatížil výstup + 15 V zjistil jsem, že i když zdroj překročil svou jmenovitou hodnotu proudu ( $I_n = 3 \text{ A}$ ) tak zdroj neustále držel konstantní hodnotu napětí 14,5 V. Až při zatížení 7 A začalo napětí klesat (obr. 4.19). Při zatížení výstupu - 15 V je napětí konstantní, až do okamžiku, kdy zdroj překročí svou jmenovitou hodnotu proudu ( $I_n = 0,5 \text{ A}$ ) okamžitě napětí klesá (Obr. 4.20).

Také mě zajímalo, jak moc se změní výstupní hodnoty zdroje, když zatížíme jen jednu větev a zbylé dvě budou pracovat naprázdno. U zdroje Mean Well PT – 65C bylo patrné, že když byl zatížen výstup + 5 V, tak napětí na výstupu + 15 V rostlo, až na hodnotu 20 V. Na což u výstupu - 15 V napětí nepatrně rostlo záporně (obr. 4.13). Při zatížení výstupů + 15 V a - 15 V se hodnoty jen málo lišili od běžných hodnot (obr. 4.14 a obr. 4.15). Ale naopak u zdroje Mean Well RT – 85C při zatížení výstupu + 5 V napětí na zbývajících dvou větvích rostlo a zastavilo se až na hodnotách + 18 V a - 18,3 V (obr. 4.21). Když se zatížil výstup + 15V tak

hodnota pro výstupní napětí + 5 V zůstala téměř stejná, avšak v případě výstupu - 15 V napětí rostl záporně, až na hodnotu - 16,5 V (obr. 4.22). Při zatížení posledního výstupu - 15 V se opět hodnota na výstupu + 5 V nemění, zatím co na výstupu + 15 V napětí pozvolna klesalo (obr. 4.23).

V poslední části měření jsem změřil nejpodstatnější části spínaného zdroje, blokové schéma je znázorněno na obr. 4.3. Veškeré průběhy z osciloskopu jsou v příloze III a IV. Můžu tvrdit, že při napájení síťovým napětím, se při postupném zatěžování, roste i střída tranzistoru. A na průběhu napětí na z tranzistoru mezi svorkami D a S jsou patrné kmity, které se při zvyšování zátěže zmenšují, až nakonec zmizí (obr. 4.6 a obr. 4.7).

Na závěr bych chtěl konstatovat, že oba zdroje měli nepatrné poklesy napětí na výstupech, až do doby než výstupy překročily své jmenovité hodnoty proudu. V tom okamžiku napětí začne lineárně klesat. Překvapivé zjištění bylo, jak moc se změnil výstupní hodnoty zdroje, když zatížíme jen jednu větev a zbylé dvě budou pracovat na prázdko.

Spínané zdroje jsou v dnešní době víc využívány, než lineární zdroje a to z několika důvodů. Spínané zdroje jsou mnohem menší a jejich vlastnosti jsou lepší než u lineárních zdrojů. Spínané zdroje mají mnohem větší účinnost, než zdroje lineární řádově o 50 %. I cena zde hraje velkou roli. U spínaných zdrojů se cena s rostoucím výkonem téměř nemění, avšak u lineárních zdrojů roste lineárně s výkonem. Jedinou nevýhodou spínaných zdrojů je rušení, které vzniká při spínání výkonového tranzistoru. Tento problém může vadit ve vysokofrekvenční technice nebo v audio technice, kde by se toto rušení mohlo projevit nepříjemným pískáním.

Tato bakalářská práce přehledně shrnuje základní teorii spínaných zdrojů, jejich stavbu a vlastnosti. Práci je tedy možné použít jako teoretický základ pro literární prameny při výuce či doplňkový učební text.

## Literatura

1. **Krejčířík, Alexandr.** *Napíjecí zdroje I.* Praha : BEN - technická literatura, 1997.
2. **Krejčířík, Alexandr.** *Spínané napájecí zdroje s obvodem TOPSwitch.* Praha : BEN - technická literatura, 2002.
3. **Krejčířík, Alexandr.** *Spínané zdroje s časovačem 555.* Praha : BEN - technická literatura, 1999.
4. **Liška, Vojtěch.** *Spínané zdroje pro průmyslovou a spotřební elektroniku.* Ostrava : Bakalářská Práce, VŠB-TU Ostrava, 2010.
5. **Vondrášek, František.** *Výkonová elektronika, Svazek II, Měniče s vnější komutací.* Plzeň : Západočeská univerzita, 1994.
6. **Šulc, Tomáš.** PC Tuning. [Online] 22. Červen 2012. [Citace: 4. Května 2013.] <http://pctuning.tyden.cz/component/content/24350?task=view>.
7. [Online] [Citace: 4. Května 2013.] [http://www.edunet.souepl.cz/~weisz/dilna/ens2/t8/t2\\_8\\_4\\_0.php](http://www.edunet.souepl.cz/~weisz/dilna/ens2/t8/t2_8_4_0.php).
8. [Online] [Citace: 4. Května 2013.] <http://www.akam.cz/assets/data/PT-65-spec.pdf>.
9. [Online] [Citace: 4. Května 2013.] <http://www.akam.cz/assets/data/RT-85-spec.pdf>.